Untersuchungen über die Bewurzelung der Industriekartoffel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

an der

Georg-August Universität

zu Göttingen

vorgelegt von

Hermann Böhme

aus Leipzig.

1925

Mit Genehmigung der Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät zu Göttingen eingereichter Teildruck.

Die Original-Arbeit ist im Institut für Pflanzenbau, Göttingen, niedergelegt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Referent: Professor Dr. O. Tornau.

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Mai 1925.

Dem gütigen Förderer meiner Studien

Herrn Alfred Drescher

in Halle a. S.

In herzlichster Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548128_0092

1. Versuchsanordnung.

Auf keinem Gebiete des landwirtschaftlichen Pflanzenbaues finden wir so wenige Arbeiten wie auf dem der Wurzelforschung, und doch ist die Bekanntschaft mit der Bewurzelung der Gewächse die Grundlage des Feldbaus; alle Arbeiten, die der Landwirt auf seinem Boden verrichtet, müssen genau der Natur und Beschaffenheit der Wurzeln der Gewächse angepasst sein, die er anbauen will. Für bestmögliche Bewurzelung vermag er allein Sorge zu tragen; auf die weitere Entwicklung der oberirdischen Teile der Pflanze hat er keinen Einfluß mehr, und er ist darum nur des Erfolges seiner Bemühungen versichert, wenn er den Boden zweckentsprechend für die Entwicklung und Tätigkeit der Wurzeln zubereitet hat. „Die Wurzel ist nicht bloß das Organ, wodurch die wachsende Pflanze die zu ihrem Aufbau notwendigen unverbrennlichen Elemente aufnimmt, sondern sie ist in einer anderen nicht minder wichtigen Funktion dem Schwungrad an einer Maschine gleich, das die Arbeit derselben regelt und gleichförmig macht. In ihr speichert sich das Material an, um den Bedürfnissen der Pflanze je nach den äußeren Anforderungen der Wärme und des Lichtes, das zum Abschluß der Lebensakte nötige Material zu liefern".[1]) „Die Bewurzelung unserer Kulturpflanzen ist noch lange nicht genügend studiert; die Wurzelkulturen bieten eine interessante und ohne Zweifel dankenswerte Aufgabe; die prak-

[1]) v. Liebig, 66, S. 199.

tische Landwirtschaft wird dabei mehr gewinnen, als sie von mancher chemischen Analyse profitiert. Bei der Bestimmung der Fruchtfolgen werden die Landwirte mit der Zeit nicht allein Sand- und Lehmboden, Karbonat- nnd Silikatboden, nicht allein Kali-, Kiesel- oder Kalkpflanzen unterscheiden; sie werden auch die Bewurzelung der Pflanzen studiert haben müssen."[1])

Voraussetzung zur Bearbeitung und Düngung des Bodens muß das Studium des jeder Kulturpflanze spezifischen Habitus und der Tiefenentwicklung der Wurzeln bilden, „wenn der gesamte Pflanzenorganismus zur höchstmöglichen Ausbildung gesteigert werden soll".[2]) „Nach den neueren physiologischen Forschungen müssen die Glieder eines Pflanzenkörpers als miteinander in gewissen Wechselbeziehungen oder Korrelationen stehend angesehen werden, so daß diese Beziehungen für den Grad, zum Teil auch für die Art der Entwicklung, die Richtung des Wachstums, die physiologischen Eigenschaften der Glieder von großer Bedeutung sind. Somit ist es also auch wahrscheinlich, daß solche Beziehungen zwischen dem Wurzelsystem und der Entfaltung der oberirdischen Teile vorhanden sind."[3])

Obwohl man also die Wichtigkeit der Wurzel frühzeitig erkannte, beschäftigte man sich erst in neuerer Zeit mit dem Studium des Wurzelsystems der Kulturpflanzen bezüglich des Einflusses der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Bodens und bemühte sich neben der Darstellung des rein anatomischen und histologischen Baues der Wurzeln besonders um eine Klarstellung ihrer Biologie und Morphologie.

Wir finden als ältere Arbeiten die von Schubert-Gallentin[4]), H. Thiel[5]), Schacht[6]), Nikolai[7]), Naegeli und Leitgeb[8]), Fraas[9]), Müller-Thurgau[10]), Sachs[11]), Werner und Schultz-Lupitz[12])[13]).

[1]) Lamprecht, 62, S. 183.
[2]) v. Pistolkors, 98, S. 2.
[3]) Kraus, 55, S. 235.
[4]) Schubert-Gallentin, 120, S. 211.
[5]) H. Thiel, 138,
[6]) Schacht, 118.
[7]) Nikolai, 82.
[8]) Leitgeb, 81.
[9]) Fraas, 20.
[10]) Müller-Thurgau, 78.
[11]) Sachs, 116, S. 20.
[12])[13]) Lupilz, 157, S. 71; 123, S. 19.

Neben diesen allgemeinen Arbeiten und Abhandlungen haben Hellriegel[1]), Heinrich[2]), Haberlandt[3]), Nobbe[4]), Carola[5]), Nowacki[6]), Fittbogen[7]), Fruwirth[8]), Kraus[9]), Schulze[10]), Rotminstroff[11]), Freidenfelt[12]), Vorobico[13]), Modestow[14]), Kläsener[15]), spezielle Untersuchungen über das Wurzelsystem der Getreide Gräser, Leguminosen, Kleearten usw. angestellt.

Trotz Erkenntnis der Tatsache, „daß jede Pflanze ihre Wurzel, soweit sie dieselbe ungehindert zu entwickeln vermag, ebensogut zu einem bestimmten charakteristischen Habitus herausbildet wie ihre Stammpartie“[16]), daß man auch bei den Wurzeln „von gewissen architektonischen Typen“[17]) sprechen darf, sind wir heute noch nicht in der Lage, für unsere wichtigsten Kulturpflanzen das Schema ihres Wurzelsystems anzugeben, weil es uns an genügend zuverlässigen Untersuchungsmethoden mangelt.

Eine große Anzahl Forscher suchte die Wurzelentfaltung in Wasserkulturen zu studieren, und zeitweise hatte die zuerst von Liebig betonte, später von Sachs[18]) und Nobbe[19]) zu großer Entwicklung gebrachte Kultur der Wurzeln in flüssigen Nährlösungen allgemeine Bedeutung erlangt.

Nobbe befaßte sich eingehend mit der Kultivierung der Kartoffel im Wasser in der Hoffnung, daß diese zukunftsreiche Kulturmethode den besten Aufschluß über solche Gesetze der Knollenbildung verbürgen würde, die sich im gewöhnlichen unter-

---

[1]) Hellriegel, 37, S. 118.
[2]) Heinrich, 35, S. 52.
[3]) Haberlandt, 30, S. 580.
[4]) Nobbe, 86, S. 106.
[5]) Carola, 12, S. 1095ff.
[6]) Nowacki, 90, S. 64ff.
[7]) Fittbogen, 19b, S. 474.
[8]) Fruwirth, 22, S. 461—79.
[9]) Kraus, 55, S. 234—86; 56, S. 55—105; 57, S. 113—166; 58, S. 80—129.
[10]) Schulze, 121; 122, S. 11.
[11]) Rotminstroff, 108, S. 29.
[12]) Freidenfelt, 21, S. 115ff.
[13]) Vorobico, 150, S. 447.
[14]) Modestow, 77, S. 1—54.
[15]) Kläsener, 46.
[16])[17]) Hellriegel, 37, S. 123.
[18]) Sachs, 115, S. 331.
[19]) Nobbe, 84, S. 68ff.; 85, S. 337.; 86, S. 106.; 88, S. 1ff.; 83, S. 57.

irdischen Verlauf der Bildungsvorgänge jeder Beobachtung entziehen[1]). Ebenso beschäftigen sich mit dieser Frage Duhamel[2]), Lesage[3]), Knop[4]), Stohmann[5]), Kühn und Rautenberg[6]), Nobbe und Siegert[7]), Knop und Wolf[8]), Mer[9]), Birner und Lucanus[10]), Leydhecker[11]), Wolff[12]), Worthmann[13]) u. a.

Alle diese Forscher hofften mit Knop und Nobbe durch die Vegetationsversuche in tropfbar flüssigen Nährstoffmedien imstande zu sein, „nicht bloß gleichwertige Abbilder der Durchschnittspflanzen des fruchtbaren Ackerbodens zu erzielen, sondern durchaus musterhafte Individuen, die den Charakter ihrer Spezies in allen Organen rein und gewissermassen ideal repräsentieren und bezüglich der organischen Produktion die höchsten Leistungen gewähren“.[14])

Die Wasserkulturen legten aber die Unmöglichkeit dar, jede Pflanze in flüssigen Nährstoffmedien zu ziehen, weil diese Methode eine Anpassungsfähigkeit des Wurzelsystems an unnatürliche Bedingungen voraussetzt, die nicht jeder Pflanze eigen ist[15]). Wir müssen aber gerade beim Wurzelstudium die Nachahmung der natürlichen Verhältnisse anstreben, „was selbst durch die kompliziertesten synthetischen Experimente in anderen Medien als im Boden nur partiell gelingen kann“[16]).

Es muß auffallen, daß sehr wenige Arbeiten das Wurzelsystem der Kartoffel zum Gegenstande der Untersuchung machen. Die Gründe für die Vernachlässigung dieser so hochwichtigen Nahrungspflanze dürften darin zu suchen sein, daß einmal alle Unter-

---

[1]) Nobbe 83, S. 57.
[2]) Duhamel, 19a.
[3]) Lesage, 63, 64.
[4]) Knop, 78, S. 65 und 270; 49, S. 181; 50, S. 295.
[5]) Stohmann, 133, S. 347.
[6]) Kühn und Rautenberg, 60, S. 355.
[7]) Nobbe und Siegert, 89, S. 19ff. und 108ff.
[8]) Knop und Wolf, 51, S. 345.
[9]) Mer, 70; 71, S. 696; 72, S. 688.
[10]) Birner und Lucanus, 2a, S. 128f.
[11]) Leydhecker, 65, S. 177.
[12]) Wolff, 163, S. 640.
[13]) Worthmann, 165, S. 640.
[14]) Nobbe, 88, S. 1.
[15]) Benecke-Jost, 43, S. 135.
[16]) v. Pistohlkors, 98, S. 101.

suchungen über Wurzeltiefgang und -ausbreitung gerade bei der Kartoffel im feldmäßigen Anbau mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden sind, und zum anderen, daß man der Kartoffel ein ganz unbedeutendes Wurzelsystem, das seiner Einfachheit und Kürze halber garnicht erst schwieriger Untersuchungen bedürfe, zumutete; fand doch v. SEELHORST [1]), daß die Wurzeln der Rosenkartoffel, einer Frühkartoffel, bei 40 cm Tiefe aufhörten. Dieses Resultat muß uns insofern interessieren, als die Versuche v. SEELHORSTS ebenso wie die vorliegende Arbeit auf dem Versuchsfeld des landwirtschaftlichen Institutes der Universität Göttingen ausgeführt wurden. v. PISTOHLKORS kommt bei seinen Untersuchungen zu dem Ergebnis, „daß die Kartoffelwurzel weit weniger als die der Cerealien von architektonischen Gesetzen abhängig ist; sie muß durchaus zu den trägen gerechnet werden; das Wurzelsystem der Kartoffel muß als eines der charakterlosesten bezeichnet werden, und es ist deshalb viel schwerer, für die Kartoffelwurzeln Durchschnittsgrößen oder Tiefenerstreckung anzugeben als für die anderen Kulturgewächse". [2]) v. PISTOHLKORS gibt in seiner Tabelle den Tiefgang der Wurzeln von 34 Pflanzen an (Getreide, Gräser, Klee, Rüben, Erbsen, Lupinen usw.), erwähnt aber die Kartoffel überhaupt nicht. Ebenso fehlt bei den umfangreichen und vielseitigen Untersuchungen von KRAUS und FRUWIRTH das Wurzelsystem der Kartoffel. ROTMINSTROFF findet, „daß besonders tief, etwa 1,5 m, die Wurzeln von Beta vulgaris und Helianthus annuus eindringen; das kürzeste Wurzelsystem haben die Kartoffeln (Solanum tuberosum)". [3]) Es existieren bis in die neueste Zeit irrige Vorstellungen über Tiefgang, Länge und Seitenausbreitung der Kartoffelwurzeln, und es soll der Zweck dieser Arbeit sein, zur Klärung solcher Fragen beizutragen.

Die Entwicklung jeder Pflanze ist von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Substrates, auf dem sie gedeihen soll, abhängig. Deshalb gelten die Untersuchungen nur für die Boden- und Klimaverhältnisse des Göttinger Versuchsfeldes, die in der Arbeit von KLÄSENER (46, S. 68) näher beschrieben sind, so daß hier darauf verwiesen werden kann.

---

[1]) v. SEELHORST, 125, S. 91 ff.
[2]) v. PISTOHLKORS, 98, S. 94.
[3]) ROTMINSTROFF, 108, S. 24.

Es interessieren hier besonders die klimatischen Verhältnisse der Vegetationsperiode 1924, in welchem Jahre die Wurzeluntersuchungen ausgeführt wurden:

	Temperatur in 10 cm Bodentiefe °	Maximum-Temperatur °	Minimum-Temperatur °	Regenhöhe	Sonnenschein	Windrichtung	Temperatur 6 h abends °
April . .	7,89	11,71	2,60	64,5	110h 50′	NW	9,23
Mai . . .	15,61	22,63	11,70	68,7	77h 50′	NW	17,72
Juni . .	18,48	22,06	10,33	49,6	79h 05′	SW/NW	18,91
Juli . . .	19,76	22,60	12,20	91,0	121h 25′	SW/NW	19,70
August .	17,00	20,30	11,40	130,4	140h 40′	SW/NW	17,30
September	15,10	18,80	10,50	144,8	97h 45′	SW/W	16,00
Oktober .	10,20	15,05	6,80	26,6	94h 00′	NO/NW	12,00

In Vergleich dazu seien die Witterungsverhältnisse der Vegetationsperiode des Jahres 1923 gesetzt:

	Temperatur in 10 cm Bodentiefe °	Maximum-Temperatur °	Minimum-Temperatur °	Regenhöhe	Sonnenschein	Windrichtung	Temperatur 6 h abends °
April (19.-31.)		12,0	3,0	27,8	63h 60′		9,3
Mai . . .	12,4	13,8	7,4	126,0	136h 00′		13,70
Juni . . .	12,9	15,08	8.16	62,9	70h 00′		12,98
Juli . . .	29,0	24,7	12,4	51,7	241h 00′		21,8
August . .	18,1	21,35	10,26	61,2	211h 10′		18,54
September .	14,3	18,6	8,6	44,3	127h 35′		15,4
Oktober . .	10,8	14,74	7,32	156,9	66h 45′		12,08[1])

Galt schon das Jahr 1923 als sehr regenreich, so wird es doch von 1924 noch um ein Bedeutendes übertroffen; es betrug die Regenhöhe

für April bis Oktober 1923: 530,8 mm
" " " " 1924: 575.9 mm

Nach Thiele beläuft sich die Regenmenge für genannten Zeitraum im Durchschnitt auf nur 350 mm; das Jahr 1924 weist also fast das Doppelte auf, wodurch sein Charakter als äußerst

[1]) Kläsener, 46, S. 7.

regenreiches Jahr gekennzeichnet ist. Namentlich die Monate des erfolgreichsten Wachstums Juli bis Oktober sind mit Niederschlägen reich bedacht; sie erhalten 366,2 mm Regen, also $^2/_3$ aller Regenmengen der gesamten Vegetationsperiode. Diese Tatsache hat für unsere Untersuchungen insofern große Bedeutung, als im Gegensatz zur allgemeinen Ansicht, daß Wurzeln in niederschlagsreichen Jahren sich mehr in den oberen Bodenschichten verzweigen, also weniger tief in den Boden eindrängen, ein ganz gewaltiger Tiefgang der Wurzeln im „nassen" Sommer 1924 festgestellt werden konnte. (s. Stössner, Untersuchungen[1] über den Einfluß verschiedener Aussaattiefen, landw. Jahrb. 1887, Berlin, Bd. 16, S. 8); Kläsener, Wurzeluntersuchungen verschiedener Kartoffelsorten, Inaug.-Diss. Göttingen 1923, S. 7; Schultz-Lupitz: „Es hat sich gezeigt, daß die Pflanze beflissen ist, in trockenen Jahrgängen tiefer in den Boden ihre Pfahlwurzeln hineinzutreiben als in feuchten. Es sind Lupinenwurzeln verfolgt worden bis zu einer Tiefe von 1,50 m, während auch mehrfach in feuchten Jahren nur eine Wurzeltiefe von 80 cm ermittelt wurde" (Zwischenfruchtbau, Berlin 1897, S. 26).

Zur Ergänzung sei noch der Gehalt an Kali und Phosphorsäure der verschiedenen zu unseren Versuchen benutzten Böden angegeben, der nach der Methode Neubauer ermittelt wurde.

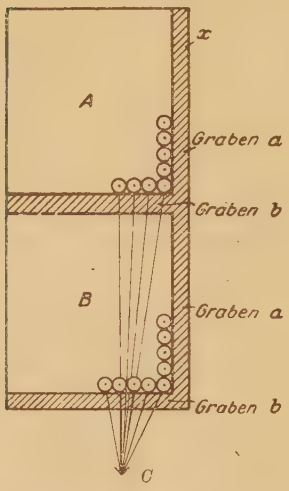
	Gehalt an Kali mg	Gehalt an Phosphorsäure mg
I. Versuch im freien Feld:		
II. Gefäßversuche mit Leinesand:	10,03	2,88
III. Kastenversuche:		
A. Erde aus Kasten 9, Diluviallehm	20,71	4,06
B. Erde aus Kasten 3, Diluviallehm	20,56	6,76
C. Erde aus Kasten 1, Diluviallehm	17,56	8,55
D. Sand aus Kasten 7, Heidesand		
a) Obere Schicht	9,19	5,77
b) Untere Schicht	9,51	5,13
E. Sand aus Kasten 8, Heidesand		
a) Obere Schicht	10,18	4,05
b) Untere Schicht	10,11	4,43

Durch die Untersuchungen, deren Ergebnisse in vorliegender Arbeit dargestellt sind, sollte die Wurzelentwicklung der Industriekartoffel geklärt werden:

a) auf natürlichem Boden, also im feldmäßigen Anbau,
b) auf verschiedenen Kulturböden in Vegetationskästen,
c) auf Böden mit verschiedener Dichtigkeit in hohen Blechgefäßen.

Bei den Untersuchungen zu a) wurde folgende Methode angewandt:

Um überhaupt an die Wurzeln herankommen zu können, legten wir an einer Längs- und einer Querseite unseres Feldstückes Gräben an und zwar:



Graben a in einer Länge von 26 m mit 0,75 m Breite und zunächst 1,50 m Tiefe; später vertieften wir ihn auf 2 m und am Ende (bei x) auf 2,50 m.

Graben b in einer Länge von ca. 4 m mit 0,75 m Breite und 1,50 bis 2 m Tiefe.

C je eine einzelne Kartoffelstaude mit darum eingegrabenem Zylinder.

Zuerst fand der Erdbohrer Verwendung, wie ihn Hellriegel zu seinen Arbeiten benutzte: Dieses Instrument besteht aus einem hohlen Zylinder von starkem Eisenblech mit 226 mm lichtem Durchmesser und 250 mm Höhe, dessen unterer Rand zugeschärft und verstählt ist. Über den oberen Rand ist ein kräftiges Eisenkreuz festgelötet, das einen starken Stab mit Handgriff trägt.

Aber dieser Erdbohrer versagte bei unseren Versuchen; denn da eine bestimmte Fläche des Versuchsfeldes zu den Untersuchungen zur Verfügung gestellt worden war, durften wir uns nicht, wie Hellriegel es tat, eine beliebige Stelle des Feldes aussuchen oder eine neue Bohrstelle ausfindig machen, wenn die Schneide des Zylinders auf einen Stein stieß. Außerdem ist die Bodenschichtung und Zusammensetzung des Göttinger Versuchsfeldes folgende:

1. 0,5 m — 0,75 m humoser mergeliger Lehmboden,
2. 0,75 m — 3,00 m Lehm,
3. 3,00 m — x m Kies.

Während bei den Versuchen Hellriegels in der Umgegend von Dahme, deren Boden fast durchweg aus dem bekannten märkischen Sande besteht, der Zylinder sich leicht in den Boden treiben ließ, erwies sich bei unseren Arbeiten das Eisenblech als zu schwach.

Deshalb wurde ein Zylinder aus Eisenblech von 1 m Länge, 40 cm lichtem Durchmesser und 0,5 cm Wandstärke konstruiert, dessen unterer Rand zugeschäft ist. Er trägt aber nicht ein Eisenkreuz zum Einschlagen, sondern an seinem oberen verstärkten Rande zwei angenietete Handgriffe. Der Zylinder wurde so aufgesetzt, daß die Kartoffelpflanze in seiner Mitte lag, daß er also nach jeder Seite 20 cm Erde umfaßte. Mit zwei starken Holzschlegeln wurde er in die Erde getrieben. Aber das Herausziehen gelang nur mit größter Anstrengung mehrerer Leute. Dazu kam, daß der Zylinder auf einem Schubkarren über das ziemlich ausgedehnte Versuchsfeld bis zu der im vorderen Teile gelegenen Wasserleitung zwecks Ausspülung transportiert werden mußte, wobei der Inhalt infolge seines ziemlich hohen Gewichtes oft zerbrach. Es wurde deshalb dieser Eisenzylinder zur Hälfte abgeschnitten, und wir benutzten also nun ein Instrument von 50 cm Länge und 40 cm Durchmesser, trieben dieses in die Erde (die Pflanze stets in seiner Mitte) und zogen den Zylinder an den Handgriffen heraus, was in den meisten Fällen gelang; nur wenn infolge vielen Regens der Boden zu stark durchfeuchtet war, blieb die Erde am Zylinder nicht haften.

Der herausgehobene Zylinder wurde auf 4 umgekehrte kurze Vegetationsgefäße gestellt und ein mittlerer Wasserstrahl oben darauf geleitet; aber das Wasser floß nicht mehr ab, sobald etwas Boden herausgespült war. Ferner sackte der Erdzylinder, sobald er genügend durchfeuchtet war, aus dem Instrument, wodurch die Wurzeln zerrissen und weggespült wurden. Deshalb legten wir den gefüllten Zylinder auf die Vegetationsgefäße auf, von denen die beiden hinteren etwas tiefer standen. Unter das hintere Ende des Zylinders schoben wir ein mit Nägeln von zirka 5 cm Länge dicht bestandenes Brett und begannen, nachdem wir die Anzahl der am Boden des Zylinders sichtbaren,

weil abgerissenen, Wurzeln festgestellt hatten, mit einem kräftigen Wasserstrahl den Zylinder vom Boden her auszuspülen. Auf diese Weise erhielten wir das Wurzelgeflecht fast vollständig, da kleinere mit der abgespülten Erde losgerissene Wurzeln auf dem Nagelbrett aufgefangen wurden. Wir versuchten die natürliche Lagerung der Wurzeln dadurch zu erhalten, daß durch viele kleine Öffnungen des Zylinders dünne Stahlstäbe durch die Erde gestoßen wurden, aber wir mußten von diesem Verfahren Abstand nehmen, da die Stäbe nicht durch die 40 cm starke Erdmasse drangen und außerdem die Wurzeln zerissen.[1])

Dann begannen wir mit einer Pinzette und einem feinen Spatel die Wurzeln an der Stelle im Felde, an der der Erdzylinder abgenommen war, weiter auszugraben, indem wir die einzelnen Wurzeln sorgfältig freilegten und in ihrer ganzen Länge bis zu ihrem größten Tiefgange verfolgten, was mit Hilfe der angelegten Gräben möglich war; denn wir standen in diesem und vermochten an die Wurzeln bequem heranzukommen. Diese äußerst schwierige Arbeit nahm viel Zeit in Anspruch und erforderte größte Sorgfalt, um alle Wurzeln bestmöglichst zu erfassen, wobei es sich doch nicht vermeiden ließ, daß einzelne feine Wurzelteile mit der Erde losgerissen wurden, die wir gewissenhaft sammelten, um die Gesamtmasse der Wurzeln zu erhalten.

Die Untersuchungen konnten sich nur auf die Tiefenentwicklung der Wurzeln erstrecken, d. h. wir vermochten das in die Tiefe gehende Wurzelnetz einer Kartoffelpflanze in einem Bodenzylinder von ca. 1200 qcm Grundfläche (Durchmesser des Zylinders 40 cm, also Inhalt seiner Grundfläche $= 20 \cdot 20 \cdot 3{,}14$ = ca 1200 qcm) freizulegen und zu studieren. Da der feldmäßige Anbau von Kartoffeln zu untersuchen war, bestand keine Möglichkeit, die Seitenausbreitung der Wurzeln in den Bereich unserer Untersuchungen zu ziehen. Dem Momente der gegenseitigen seitlichen Durchdringung der Wurzeln versuchten wir insofern Rechnung zu tragen, als wir den Durchschnitt der Wurzelmassen von je 10 Pflanzen, die ausgegraben waren, annahmen, um etwaige Fehler gleichmäßig zu gestalten.

Weitere Untersuchungen erstreckten sich auf die Wurzelentwicklung solcher Kartoffeln, die in 20 eiserne Vegetations-

[1]) Rotmistroff, 108., S. 515.

kästen von je 1,35 m Tiefe und 1 qm Fläche ausgepflanzt waren.[1]) Da alle Kästen, entsprechend ihrer ursprünglichen Bestimmung, allseitig geschlossen sind, war eine seitliche Aufgrabung und dadurch eine Freilegung der Wurzeln wie im freien Felde nicht möglich. Wir benutzten deshalb hier den Stechzylinder nach Hellriegel, trieben ihn ohne Mühe bis zum Rande in den Sand, zogen ihn heraus, zählten an seinem unteren Ende die Wurzeln und konnten aus dem herausgeschütteten Inhalt bequem alle Wurzeln sammeln. Dann setzten wir den Zylinder auf der alten Bruchstelle auf, trieben ihn zum zweiten Male ein, zogen ihn gefüllt heraus, zählten die Wurzelstümpfe und konnten dieses Verfahren so oft wiederholen, als sich noch Wurzeln in den Zylinderkernen fanden.

Endlich erstreckten sich die Untersuchungen auf Wurzeln von Kartoffen, die wir in Blechzylinder von 1,50 m Länge und 0,30 m Durchmesser gepflanzt hatten. Durch das oben ausgeführte Ausspülungsverfahren konnte die Wurzelmasse fast restlos erfaßt werden.

Es ist zu bemerken, daß die früher von Hellriegel angewandte Methode der Wurzelausspülung, auf einem mit Frucht bestandenen Felde einen Graben mit senkrechten Wänden zu ziehen und von diesem aus die Erde mittels schwacher oder stark brausender Wasserstrahlen abzuspülen, auch auf dem Göttinger Versuchsfelde wohl keinerlei Wirkung gehabt hätte;[2]) ebensowenig konnte das andere Verfahren in Anwendung kommen, nach dem man auf einem Felde zwei parallele Gräben in einer Entfernung von 1 m nebeneinander zog und zunächst nur 20 cm tief machte. Dann band man die dazwischen stehenden Pflanzen fest und füllte die beiden Gräben so oft mit Wasser, bis sich die dazwischenstehende 1 m starke Bodenwand anscheinend bis zur Breikonsistenz vollgesogen hatte; jetzt versuchte man die aufgeweichte Erde von letzterer vorsichtig in die beiden Seitengräben abzuschlämmen.[2])

Namentlich der russische Forscher w. Rotminstroff hat auf dem Versuchsfelde des landw. Institutes zu Odessa vielseitige Untersuchungen bezüglich der Wurzelentwicklung einjähriger Kulturpflanzen angestellt. Er lehnt die Methode von J. J. Soko-

[1]) v. Seelhorst, Journal f. Landw. 1902, S. 277.
[2]) Hellriegel, 37, S. 254.

lowsky[1]) ab, die dieser 1898 auf dem Versuchsfelde zu Poltawa anwandte, ebenso wie die Methode von Ten-eick,[2]) auf die hier nur verwiesen werden kann.

Rotminstroff verlangt von den Untersuchungen, daß sie die Wurzel im natürlichen, gewachsenen Boden, also im Boden selbst, ohne Verletzung seiner physikalischen Natur, beobachten, daß sie jederzeit vorgenommen werden können und daß sie alle Wurzeln erfassen, nicht nur die in die Tiefe gehenden. Die Arbeitsmethoden von Rotminstroff[3]) können als bekannt gelten und zwar sowohl die Art und Weise der Beobachtung des Wurzelwachstums in gewachsenem Boden wie auch die Methode der Wurzelauswaschung. Es kann deshalb hier auf die Literatur verwiesen werden.

Von Bedeutung sind für uns schließlich die sehr interessanten Arbeiten des russischen Forschers Modestow.[4]) Er wendet bei seinen Untersuchungen auf dem Versuchsfelde des landw. Institutes von Moskau die Methode der Wurzelausgrabung von Deherain an.

1. Es wurde ein Graben von 282 cm Länge und 176 cm Tiefe ausgehoben. Die Oberfläche des Bodens am Rand des Grabens war bis zu einer Tiefe von 17,6 cm umgegraben; die Wurzeln und Wurzelstöcke anderer Pflanzen entfernte man sorgfältig. Der so vorbereitete Boden wurde in 6 gleich große Streifen geteilt, die man durch Gänge trennte, damit die gegenseitige Durchdringung zweier benachbarten Pflanzen verhindert wurde. Hatten die Pflanzen eine gewisse Entwicklung erreicht, dann spülte oder grub man die oberste Erdschicht weg, darauf die nächste usw. Nach und nach erschien das gesamte System der Wurzeln.

2. Modestow benutzte ferner mehrere lange Erdwälle, die vor ca. 40 Jahren errichtet waren, sodaß die lange Dauer der Erdlagerung die nötige Festigkeit garantierte. Diese Wälle näherten sich in bezug auf ihre Dichtigkeit sehr dem natürlichen Erdboden, jedoch mit dem wesentlichen Unterschiede, daß ihre Profile nicht die natürliche Konstitution besaßen. Modestow säte ebenfalls

---

[1]) Sokolowsky, 130.
[2]) Ten-Eick, (Rotminstroff, 108).
[3]) Rotminstroff, 108, S. 532 und S. 26.
[4]) Modestow, 77, S. 1—54.

Samen von Kulturpflanzen und typischen Unkräutern nach der beim natürlichen Boden gehandhabten Methode; die Wurzeln spülte er genau so aus.

Bemerkt sei, daß Modestow[1]) seine Ausführungen durch recht anschauliche Bilder und Kurven illustriert.

Der Diplomlandwirt Rhenius teilt ein Verfahren mit, das auf dem Versuchsgut Gieshof der Siemens-Schuckert-Werke angewandt wird: Ein Gestell aus vier gleich langen, rechtwinkeligen Schienen von 1,3 m Länge, die durch kräftige Eisen verbunden und deren Enden geschärft sind, wird in den Boden getrieben; eine Seite des eingeschlossenen Erdblockes wird vollständig freigelegt, die beiden angrenzenden werden mit dem Spaten losgestochen. Auf der vierten Seite wird ein starkes, am unteren Ende geschärftes Eisenblech in Breite und Länge des Erdblockes senkrecht längs der Schienen in die Erde getrieben. An der vorderen gänzlich freigelegten Seite wird ein Eichenbrett angeschraubt, das zahlreiche Löcher im Abstand von 3—4 cm aufweist, durch die ca. 100 Nadeln horizontal eingeschlagen werden, sodaß die einzelnen Erdpartikeln und Saugwurzeln ihre Lage beibehalten. Der Block wird dann weggeschleppt und je nach Bodenart 2—4 Tage in Wasser aufgeweicht, sodaß sich ein großer Teil Erde löst während der Rest mit einem leichten Wasserstrahl oder einer Brause abgespült wird.

Die Methode, nach der Fruwirth die Ausgrabungen von Wurzeln der Hülsenfrüchte in Mödling vornahm, konnte für uns nicht in Betracht kommen; denn er vermochte den dortigen leichten Sandboden bequem in einen angelegten Graben zum Herabrieseln zu bringen und dadurch die Wurzeln freizulegen.[2])

Bevor wir an die Darstellung der angewandten Ausgrabungsmethode und an die Auswertung der Ergebnisse herantreten, wollen wir Bearbeitung und Düngung des Bodens darlegen. Er wurde im Herbst geschält, dann tief gepflügt, im Frühjahr mit einem Untergrundwühler tief aufgelockert und geschleppt. Als Vorfrucht hatte der Boden Winterweizen getragen; an Düngung wurde gegeben:

$1^1/_2$ Ztr. Harnstoff (38 %) pro Morgen,
3 „ Kali (50 %) pro Morgen.

---

[1]) Modeston, 77, S. 25, 43, 54.
[2]) Fruwith, 22, S. 461—479.

Am 17. Mai erfolgte das Auspflanzen der Kartoffeln auf dem uns zugewiesenen ca. 26 m langen und 8 m breiten Stück des Versuchsfeldes, das wir in zwei Teile, A und B, zerlegten (Skizze). Die Standweite in der Reihe betrug 40 cm, die Reihenentfernung 60 cm. Als Saatgut wurden verwandt auf Stück A Industrie der Lüneburger S. Z. G. 1921, gewöhnliche Saat; Stück B Industrie, alter Nachbau, gewöhnliche Saat.

Die weiterhin benutzten Kästen, die mehrere Jahre unbestellt gelegen hatten, wurden im Verhältnis entsprechend gedüngt und mit je einer Kartoffel bepflanzt, als Saatgut diente Ebstorfer Industrieperle Original 1923, große Knollen. Die Aussaat erfolgte am 17. Mai.

Die Blechzylinder wurden mit verschiedenen Böden gefüllt; es erhielt

Gefäß I—IV ziemlich sterilen Leinesand,
„ V—VIII Versuchsfeldererde (lose eingefüllt),
„ IX—XII „ (fest eingestampft).

Je eine große Knolle Ebstorfer Industrieperle 1923 wurde am 17. Mai in ein Gefäß gelegt; Düngung erfolgte entsprechend der des Versuchsfeldes.

II. Wurzelausgrabungen.

Die Ausgrabungen wurden in Gruppen von je 10 Pflanzen abwechselnd von Stück A und B vorgenommen, und zwar erfolgte die Aufnahme der Gruppe I von A in der Zeit vom 30. Juni bis 5. Juli. Schon bei dieser ersten Gruppe, die im Mittel in einem Alter von 48 Tagen ausgegraben wurde, finden wir eine stattliche Zahl von Hauptwurzeln; Pflanze Nr. 1 weist deren 17 auf, die Pflanzen Nr. 6 und Nr. 8 sogar 26. Eine Zusammenstellung ergibt folgendes Bild:

(Siehe die Tabelle auf S. 15.)

Die Mehrzahl der Wurzeln findet sich in einer Tiefe von 0—10 cm; doch weisen Pflanze Nr. 8 und Pflanze Nr. 9 schon je eine Wurzel von einem Tiefgang von 50—60 cm und Pflanze Nr. 10 2 in einer solchen von 60—70 cm auf. Schon hier im Anfangsstadium der Entwicklung sehen wir, daß die Wurzeln der Kartoffeln zwar zu $^2/_3$ in der Ackerkrume sich finden, $^1/_3$ aber

Gruppe I: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	17	19	18	23	21	26	22	26	22	17	211	
Mittel: 21,1						$\sigma = 3{,}76$		$v = 17{,}82$				
Tiefgang (cm):												
0—10	5	9	3	8	11	8	10	8	7	5	74	**35,07**
10—20	9	5	10	10	4	3	6	10	9	4	70	33,17
20—30	3	5	4	2	3	6	3	2	3	3	34	16,11
30—40	—	—	1	2	2	6	0	2	1	0	14	6,63
40—50	—	—	—	1	1	3	3	3	1	1	13	6,16
50—60	—	—	—	—	—	—	—	1	1	2	4	1,89
60—70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	0,94
	17	19	18	23	21	26	22	26	22	17	211	—

bereits in den Untergrund eindringt. Die Annahme liegt deshalb nahe, daß sie sich bei voller Entwicklung nicht mit einem Tiefgange von zirka 75 cm bis 1 m begnügen werden, wie dies bislang noch vielfach angenommen wurde. Diese Vermutung bestätigt die Ausgrabung der Gruppe II von Stück B, die in der Zeit vom 15.—22. Juli vorgenommen wurde.

Gruppe II: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	27	29	24	29	32	29	28	43	36	33	310	
Mittel: 31						$\sigma = 5{,}56$		$v = 17{,}93$				
Tiefgang (cm):												
0— 10.	3	5	2	2	5	8	6	10	6	4	51	16,45
10— 20.	5	3	3	5	3	2	3	4	2	1	31	10,00
20— 30.	4	6	4	2	5	0	5	2	4	3	35	11,29
30— 40.	8	9	7	11	6	5	5	5	7	6	69	**22,25**
40— 50.	2	2	2	4	4	3	2	8	2	2	31	10,00
50— 60.	1	0	2	0	5	1	1	2	6	5	23	7,41
60— 70.	1	2	1	2	2	2	0	4	3	2	19	6,12
70— 80.	2	1	1	1	1	4	4	2	0	3	19	6,12
80— 90.	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	12	3,87
90—100.	—	—	—	1	—	1	1	3	2	2	10	3,22
100—110.	—	—	—	—	—	2	—	2	1	1	6	1,93
110—120.	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3	4	1,29
	27	29	24	29	32	29	28	43	36	33	310	

Während bei Gruppe I die Zahl der Hauptwurzeln 211 beträgt, hat sie sich bei Gruppe II auf 310 erhöht. Bei jeder

Pflanze treffen wir im Vergleich zu Gruppe I eine größere Zahl Hauptwurzeln an, ja, Pflanze Nr. 8 weist deren sogar 43 auf! Ebenso hat das Tiefenwachstum der Wurzeln dieser Gruppe während der um 10 Tage längeren Vegetationszeit gewaltig zugenommen; Pflanze Nr. 1 weist eine Wurzel mit einem Tiefgang von 80—90 cm auf, Pflanze Nr. 6 dagegen schon 2 mit einem solchen von 100—110 cm; ja, Pflanze Nr. 10 besitzt eine Wurzel, die sich bis 120 cm in die Tiefe erstreckt. Der mittlere Tiefgang aller Wurzeln dieser Gruppe liegt zwischen 30 und 40 cm, und zwar fallen in diese Tiefe 22,25 %, also zirka $^1/_4$ aller Wurzeln. Während Gruppe I als größte Tiefe 70—80 cm erkennen läßt, also keine Wurzel über 1 m Tiefgang besitzt, finden sich bei Gruppe II bereits 10, also 3,22 % der Wurzelgesamtzahl.

Diese rasch sich steigernde Zahl der Hauptwurzeln wie die bedeutende Zunahme des Tiefganges läßt auch Gruppe III von Stück A erkennen, die wir in der Zeit vom 24. Juli bis 4. August dem Boden entnahmen:

Gruppe III: Pflanze	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	34	29	32	45	31	38	26	31	30	37	333	
Mittel; 33,3						$\sigma = 5{,}17$		$v = 15{,}52$				
Tiefgang (cm):												
50— 60	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,90
60— 70	8	0	0	1	0	2	1	0	0	0	12	3,60
70— 80	10	1	1	5	3	7	4	0	2	1	34	10,21
80— 90	6	7	13	17	4	6	17	8	8	6	92	**27,62**
90—100	5	8	9	8	10	17	1	10	8	12	88	26,42
100—110	2	6	4	4	8	6	2	5	7	9	53	15,91
110—120	—	5	3	3	5	—	1	3	2	6	28	8,40
120—130	—	0	0	0	0	—	—	3	3	2	8	2,40
130—140	—	1	2	0	0	—	—	0	—	0	3	0,90
140—150	—	1	0	7	1	—	—	2	—	**1**	12	3,60
	34	29	32	45	31	38	26	31	30	37	333	—

Die Zahl der Hauptwurzeln erhöht sich von 310 bei Gruppe II auf 333. Ganz bedeutend hat der Tiefgang der Wurzeln zugenommen; denn es findet sich unter 50 cm keine Hauptwurzel, in einer Tiefe von 50—60 cm nur bei Pflanze Nr. 1 3 Wurzeln; dagegen besitzen alle Pflanzen Wurzeln mit einem Tiefgang von über 100 cm, so Pflanze Nr. 2 deren 2, Pflanze Nr. 5 schon 8

und Pflanze Nr. 10 sogar 9! 12 Hauptwurzeln erreichen in dieser Gruppe einen Tiefgang von 140—150 cm, im Vergleich zu Gruppe II also fast die doppelte Tiefe, die sie in einer Wachstumszeit von zirka 8 Wochen erreicht haben. Das Mittel des Tiefganges liegt mit 27,62% zwischen 80 und 90 cm, hat sich also gegenüber Gruppe I und II ganz erheblich vertieft.

Das Wurzelbild von Gruppe III erscheint ziemlich unruhig; denn während bei Pflanze Nr. 1 und Pflanze Nr. 6 keine Wurzel eine Tiefe über 110 cm erreicht und der größte Tiefgang der Wurzeln dieser Pflanzen noch unter 100 cm liegt, gehen bei den anderen Pflanzen einzelne Wurzeln bedeutend tiefer, ganz auffallend bei Pflanze Nr. 4, wo Wurzeln bis zu einer Tiefe von 140—150 cm hinabdringen. Diese bedeutenden Unterschiede lassen sich wohl als Standorts- und Ernährungsmodifikationen erklären. Es wurden zwar ziemlich gleich große Saatknollen ausgelegt, trotzdem kann ihre Wachstumsenergie verschieden gewesen sein. Endlich spielen bei diesen Pflanzen die Wurmlöcher eine große Rolle; denn der Boden des zum Versuche benutzten Feldstückes weist viele Wurmlöcher auf, die sich bei einzelnen Pflanzen häuften, während sie bei anderen weniger zahlreich sich fanden. Die Wurzeln benutzen diese bequemen Wege in größere Tiefen (siehe Ausführungen S. 40). Dieser Umstand dürfte es erklären, daß manche Wurzeln schneller größere Tiefen erreichten und daß sich oft mehrere Wurzeln in einem Wurmloche abwärts wachsend vorfanden.

Ein ähnliches Bild der Entwicklung weist Gruppe IV von Stück B auf, herausgenommen vom 4.—11. August. Die Zahl der Hauptwurzeln hat sich kaum verändert, und ihr Tiefenwachstum bewegt sich in denselben Ausmaßen. Der mittlere Tiefgang liegt bei 90—100 cm, den 32,44% aller Wurzeln erreichen. Besonders auffallen muß hier Pflanze Nr. 5, deren Hauptwurzelmasse in eine Tiefe bis 1 m dringt. Aus der Länge des Krautes, 45 cm, wie aus seinem Frischgewicht, 226,25 g und aus dem Wurzelfrischgewicht, 30,98 g ist zu erkennen, daß es sich um eine Kümmerpflanze handelt, deren gesamte Entwicklung irgend welche Hemmungen erfuhr, die deshalb ebensowenig zum Gesamtbild herangezogen werden kann wie Pflanze Nr. 9 bei Gruppe V, die 25 Hauptwurzeln zählt bei einem größten Tiefgange von 100 bis 110 cm. Auch sie weist ein recht kurzes Kraut von 56 cm auf, ein ganz geringes Krautfrischgewicht von 172,31 g, während das

Mittel des Krautfrischgewichtes von Gruppe V 417,31 g beträgt, und ein Wurzelfrischgewicht von 12,86 g gegenüber dem Mittel der Gruppe V mit 61,11 g. Bei dieser Pflanze lautet die Bemerkung im Arbeitsbuch: „Ganz dünne, feine und wenige Wurzeln!“

Gruppe IV: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln	31	24	23	38	27	35	37	41	44	39	339	
Mittel: 33,9					$\sigma = 6{,}91$		$v = 20{,}38$					
Tiefgang (cm):												
70— 80	0	2	1	0	2	0	2	1	0	0	8	2,36
80— 90	13	2	5	2	6	7	0	3	3	4	45	13,27
90—100	10	4	11	20	12	10	6	10	12	15	110	**32,44**
100—110	6	6	2	9	7	9	15	8	16	9	87	25,66
110—120	2	6	2	4	—	6	7	13	8	7	55	16,22
120—130	—	4	2	1	—	2	6	5	2	2	24	7,08
130—140	—	—	—	2	—	1	1	1	3	1	9	2,65
140—150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	0,29
	31	24	23	38	27	35	37	41	44	39	339	—

Gruppe V: herausgenommen vom 12. August bis 22. August.

Gruppe V: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	38	41	24	29	38	38	32	38	25	41	344	
Mittel: 34,4					$\sigma = 6{,}08$		$v = 17{,}67$					
Tiefgang (cm):												
80— 90	0	2	2	0	0	1	0	0	8	1	14	4,07
90—100	2	2	5	1	0	3	5	3	13	6	40	11,62
100—110	3	8	1	8	8	6	3	6	4	8	55	15,99
110—120	10	13	10	13	18	15	9	3	—	5	96	**27,90**
120—130	11	14	5	5	6	8	4	13	—	12	78	22,67
130—140	8	1	1	1	3	1	5	8	—	6	34	9,88
140—150	3	1	—	1	2	2	4	4	—	2	19	5,52
150—160	1	—	—	—	1	2	2	1	—	1	8	2,33
	38	41	24	29	38	38	32	38	25	41	344	—

Bei Gruppe VI, aus dem Boden genommen vom 23. August bis 3. September zeigt das Wurzelwachstum bedeutende Erweiterungen:

Gruppe VI: Pflanzen Hauptwurzeln:	1 37	2 31	3 29	4 42	5 31	6 38	7 31	8 40	9 43	10 39	Summe 361	Proz.
Mittel: 36,1					$\sigma = 4{,}88$ $v = 13{,}51$							
Tiefgang (cm):												
90—100	3	4	2	1	0	0	0	0	0	0	10	2,77
100—110	2	8	6	5	1	4	3	2	4	3	38	10,52
110—120	10	5	4	7	1	4	5	6	7	7	56	15,51
120—130	7	9	8	9	3	5	6	4	10	9	70	19,39
130—140	9	3	6	5	6	7	7	11	12	14	80	**22,16**
140—150	5	1	2	13	9	8	5	7	6	2	58	16,06
150—160	1	1	1	1	10	9	4	6	2	2	37	10,24
160—170	—	—	—	1	1	1	1	2	1	1	8	2,21
170—180	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	3	0,83
180—190	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	0,27
	37	31	29	42	31	38	31	40	43	39	361	—

Die Untersuchungen über Entwicklung und Tiefgang der Wurzeln bei Gruppe VI lehren uns, daß 22,16 % aller Wurzeln in einer Tiefe von 130—140 cm endigen, daß aber einzelne Wurzeln in ganz gewaltige Tiefen hinabdringen. So weisen Pflanze Nr. 9 und Nr. 10 je eine Wurzel auf, die bis zu einer Tiefe von 170—180 cm hinabreicht, während bei Pflanze Nr. 8 eine Wurzel sogar eine Länge von über 180 cm erlangt. Von allen Hauptwurzeln der Gruppe VI liegen nur ca. 3 % in einer Tiefe bis 1 m, 97 % hingegen dringen über 1 m tief hinab und von diesen wieder 1 % über $1^3/_4$ m! Die Untersuchungen führen die Tatsache vor Augen, daß die Wurzeln der Kartoffeln über das Doppelte der Tiefe erreichen, die man ihnen bisher zumutete (0,75 m—1,00 m). Dasselbe lehren auch die Gruppen VII—IX, in denen sich die Zahl der Hauptwurzeln bedeutend vermehrt hat; der Durchschnitt liegt bei allen über 40.

Gruppe VII, aus dem Boden genommen in der Zeit vom 4. 9.—10. 9., weist neben zwei Kümmerpflanzen (Pflanze Nr. 2 und Nr. 5) solche mit sehr starker Wurzelentwicklung auf. Bei Pflanze Nr. 8 erreicht eine Wurzel eine Tiefe von 184 cm und bei Pflanze Nr. 10 eine Tiefe von 181 cm. Es gehen bei Gruppe VII ca. 20 % aller Hauptwurzeln über 150 cm tief!

Diejenige Schicht, in der der höchste Anteil an Wurzeln endet, liegt bei Gruppe VII 130—140 cm (28,25 %) tief, bei

Gruppe VII: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	42	40	46	38	29	45	42	44	39	42	407	
Mittel: 40,7					$\sigma = 4{,}58$			$v = 11{,}25$				
Tiefgang: (cm)												
100—110	4	4	2	0	6	1	3	0	0	3	23	5,65
110—120	3	8	7	4	8	3	7	3	4	1	48	11,79
120—130	8	9	7	8	10	8	5	7	5	6	73	17,93
130—140	14	16	18	12	5	16	11	11	7	5	115	**28,25**
140—150	9	3	8	7	—	6	8	7	11	9	68	16,70
150—160	4	—	3	4	—	5	6	3	6	2	33	8,10
160—170	—	—	1	2	—	4	2	2	4	6	21	5,15
170—180	—	—	—	1	—	2	—	10	2	7	22	5,40
180—190	—	—	—	—	—	—	—	1	—	3	4	0,98
	42	40	46	38	29	45	42	44	39	42	407	

Gruppe VIII: Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Proz.
Hauptwurzeln:	39	32	41	39	42	45	40	44	51	46	419	
Mittel: 41,9					$\sigma = 4{,}64$			$v = 11{,}20$				
Tiefgang: (cm)												
100—110	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5	1,19
110—120	2	2	4	0	2	2	4	6	4	1	27	6,44
120—130	6	6	7	3	3	6	4	3	3	4	45	10,74
130—140	8	5	4	6	4	4	2	2	5	3	43	10,26
140—150	14	12	18	13	12	11	8	3	7	7	105	**25,05**
150—160	3	3	4	8	11	14	11	16	15	17	101	24,10
160—170	2	2	2	2	4	3	4	5	5	3	33	7,87
170—180	2	1	1	3	2	1	2	2	2	3	19	4,53
180—190	1	1	1	2	3	2	2	3	3	2	20	4,77
190—200	1	—	—	1	1	2	1	1	2	3	12	2,86
200—210	—	—	—	1	—	—	1	1	2	1	6	1,43
210—220	—	—	—	—	—	—	1	—	1	1	3	0,71
	39	32	41	39	42	45	40	44	51	46	419	

Gruppe VIII 140—150 cm (25,05%) und bei Gruppe IX 160 bis 170 cm (23,00%), d. h. sie wird immer weiter abwärts verlegt, während der Prozentsatz der Wurzeln, die sie erreichen, abnimmt; denn je tiefer man vordringt, um so weniger Wurzeln sind vorhanden. Auch die Gruppen VII—IX bestätigen, daß die bisherige

Gruppe IX: Pflanzen Hauptwurzeln:	1 38	2 36	3 40	4 45	5 48	6 46	7 39	8 45	9 32	10 44	Summe 413	Proz.
Mittel: 41,3					$\sigma = 4{,}83$		$v = 11{,}86$					
Tiefgang: (cm)												
100—110	0	0	2	3	0	0	2	0	0	0	7	1,69
110—120	0	0	1	2	3	2	5	3	8	2	26	6,29
120—130	4	2	2	9	4	7	4	2	3	3	40	9,68
130—140	8	6	4	3	3	5	5	6	4	8	52	12,59
140—150	3	3	4	4	6	0	5	5	4	7	41	9,92
150—160	10	11	7	5	12	11	9	8	10	8	91	22,03
160—170	7	9	15	13	13	14	6	4	3	11	95	**23,00**
170—180	3	2	1	4	0	1	2	9	—	2	24	5,81
180—190	2	1	2	2	2	1	1	5	—	1	17	4,11
190—200	1	1	1	—	3	2	—	2	—	1	11	2,66
200—210	—	1	1	—	1	3	—	1	—	1	8	1,93
210—220	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	0,24
	38	36	40	45	48	46	39	45	32	44	413	

Ansicht, die Kartoffel sei ein Flachwurzler, zu unrecht besteht. Die Untersuchungen legen dar, verglichen mit denen anderer Forscher wie Schultz-Lupitz, Hellriegel, Schulze-Breslau, Rotminstroff, daß die Kartoffel in Bezug auf Tiefenentwicklung der Wurzel hinter dem Getreide nicht zurücksteht. Bei Gruppe VIII erreichen 12 Wurzeln eine Tiefe von 200 cm und 6 Wurzeln eine solche von 200—210 cm. Pflanze Nr. 7 weist eine Wurzel von 212 cm Länge, Pflanze Nr. 9 eine solche von 211 und Pflanze Nr. 10 von 229 cm auf; es ist dies die längste Wurzel überhaupt, die wir bei unseren gesamten Untersuchungen ausgruben. In Gruppe 9 legten wir eine Wurzel von 216 cm Tiefgang frei.

Die große Mühe und Arbeit, die Wurzeln bis zu ihrer größten Tiefe zu verfolgen und freizulegen, führte zu dem Ergebnis, daß Kartoffelwurzeln Tiefen von 2 m und darüber erreichen können. Zu ähnlichen Resultaten sind nur Schulze-Breslau, der Wurzeluntersuchungen im aufgeschütteten Boden vornahm, und Kläsener gelangt. Ersterer fand bei seinen Kartoffeluntersuchungen[1]) „eine größte Länge der Wurzeln im Mittel von 243 cm“

[1]) Schulze, 122, S. 314.

und charakterisierte damit die Kartoffel als die Kulturpflanze, die ihre Wurzeln am tiefsten in die Erde sendet.

Ebenso fand Kläsener: „Die Wurzelgewinnung der 10 Göttinger Industriepflanzen war sehr schwierig; denn die Wurzeln dieser Sorte besaßen einen ganz gewaltigen Tiefgang. Tiefen von 1,80 bis 2,00 m waren keine Seltenheit.“[1]) Bei der Tabelle über den Wurzeltiefgang dieser Gruppe verzeichnet er bei Pflanze Nr. 5 eine Wurzel in einer Tiefe von 200—210 cm.[2])

Vergleicht man nun die Ergebnisse des Tiefenwachstums der Wurzeln von Kartoffeln, die im freien Lande gezogen waren, mit denen, die in Kästen und Blechzylinder gepflanzt wurden, so ergeben sich große Unterschiede. Die Wurzeln wurden in der Zeit vom 14. 10.—28. 10. freigelegt.

Die Anzahl der Hauptwurzeln beträgt bei den Kastenversuchen:

A. Kästen mit Diuviallehm:

Pflanzen	1	2	3	4	5	6	Summe
Hauptwurzeln:	71	59	52	68	81	76	407
Mittel: 67,83	$\sigma = 10{,}52$ $v = 15{,}5$						
Größter Wurzel-Tiefgang (cm):	131	129	126	144	131	119	

B. Kästen mit Heidesand:

Pflanzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Summe
Hauptwurzeln:	49	33	51	44	46	36	56	45	61	52	48	54	23	32	630
Mittel: 45	$\sigma = 10{,}17$ $v = 22{,}6$														
Größter Wurzeltiefstand (cm):	78	56	80	76	50	37	75	61	60	75	37	54	25	38	

Bei beiden Reihen ist das Mittel der Wurzelzahl größer als bei den Freilandpflanzen. Auffallend ist ferner der große Unterschied zwischen den Wurzellängen der Pflanzen im Diluviallehm und in Heidesand. Es wurde bei den Ausgrabungen der mit humosem Lehm gefüllten Kästen beobachtet, daß die ziemlich starken Wurzeln fast bis zum Grunde der 1,35 m tiefen Behälter vordrangen, aber nicht in die ca. 3 cm starke Kiesschicht, die den Boden der Kästen bedeckt, hineinwuchsen, sondern sich auf ihrer Oberfläche verbreiteten und verzweigten.

[1]) Kläsener, 46, S. 23.
[2]) Kläsener, 46, S. 25.

Bei den Sandkästen hingegen fanden sich die Wurzeln nur in der obersten, dunkler gefärbten und wahrscheinlich schon etwas humifizierten Schicht. Sobald sie diese durchwachsen hatten und auf die mittlere, goldgelb gefärbte Sandschicht trafen, liefen sie überraschend schnell ganz dünn aus und nahmen ein gekräuseltes Gepräge an; sie wiesen alle das typische Bild solcher Wurzeln auf, die in einem saurem Substrat vorwärts zu kommen suchen und bald verkümmern. Wir fanden nur eine einzige Wurzel in Kasten Nr. 7, die mit einer Länge von 10 cm in die mittlere Schicht eingedrungen war. Die unterste braune Sandschicht der Kästen war vollkommen frei von Wurzeln.

Auch der Verlauf der Wurzeln in den Sand- und Lehmkästen wies ganz charakteristische Unterschiede auf. Während sie in Lehm ebenso wie im freien Felde in ihrer Hauptmasse in gleichmäßiger Verteilung rund um den Stock nach der Tiefe streben und nur wenige sich in horinzontaler Richtung in der oberen Schicht ausbreiten, verzweigten sich die Wurzeln in den Sandkästen schon in der obersten Schicht wagerecht; alle wiesen eine charakteristische Biegung nach den Seiten auf. Unmittelbar unter dem Stock war kaum eine Hauptwurzel zu finden, die direkt vertikal in die Tiefe drang. Diese Beobachtungen erweckten den Eindruck, als vermieden die Wurzeln ängstlich die tieferen Bodenschichten und damit das Eindringen in die ihnen totbringende mittlere Sandschicht. Die Wurzeln liefen vielmehr an den Kastenwänden entlang; eine Wurzel wurde gefunden, die an 2 Seiten eines Kastens entlang ihren Weg genommen hatten. Diese Tatsache erklärt auch die verhältnismäßig große Länge der Wurzeln in den Sandkästen; ihr Tiefenwachstum ging nicht über die Mächtigkeit der obersten Sandschicht, die 35—45 cm betrug, hinaus.

Die Vermutung, daß die Sandkästen einen hohen Säuregrad aufweisen müßten, bestätigte eine chemische Untersuchung nach der Feldmethode Wherry, die ergab, daß die schwarzbraune oberste Sandschicht die P_H-Zahl 5,5, die mittlere goldgelbe dagegen 4,0 anzeigte, also recht stark sauer reagierte.

Zuletzt sei die Wurzelentwicklung in den Blechzylindern betrachtet, die unten offen waren und in einer Grube auf gewachsenem Boden Aufstellung gefunden hatten, so daß ihre Oberfläche zu ebener Erde lag; es war also der Tiefenentwicklung

der Wurzeln keine Grenze gesetzt. Die Untersuchung der I. Gruppe, umfassend die mit Leinesand gefüllten Blechgefäße, zeigt, daß die Zahl der Hauptwurzeln hinter der im freien Lande und der der Kästen zurücksteht; dagegen ist ihr Tiefgang ganz bedeutend:

Gruppe I: Pfl.	1	2	3	4
Hauptwurzeln:	28	14	21	23
Tiefgang (cm):	161	82	138	169

Es zeigt sich, daß bei Gefäß 1 eine Wurzel noch 11 cm und bei Gefäß 4 eine solche 19 cm in den gewachsenen Erdboden eingedrungen ist; dieses energische Hinabdrängen in die Tiefe dürfte in dem geringem Nährstoffgehalt des Sandes (s. Untersuchung nach Neubauer, S. 7) und dem dadurch veranlaßten Streben der Wurzeln nach gehaltreicherem Substrat begründet sein.

Wesentlich besser entwickelten sich die Wurzeln der Gruppe II in locker eingefülltem Lehmboden vom Versuchsfeld:

Gruppe II: Pfl	1	2	3	4
Hauptwurzeln:	32	41	38	29
Tiefgang (cm):	138	142	151	132

Die Lockerheit des Lehmbodens ist ähnlich der des Sandes, deshalb weisen hier die Wurzeln auch einen ähnlichen Tiefgang auf. Da aber die unteren Schichten des Lehmes fester gelagert und außerdem keine Wurmröhren vorhanden sind, dringen sie nicht so tief wie die Wurzeln im Sande abwärts. Es ist also ein Vergleich zwischen der Entwicklung im Felde und in den Gefäßen nicht ohne weiteres möglich.

Das bestätigt auch Gruppe III der Blechgefäße, in die Versuchsfeldlehm fest eingestampft wurde:

Gruppe III: Pfl.	1	2	3	4
Hauptwurzeln:	8	5	11	7
Tiefgang (cm):	52	56	56	65

Wir fanden hier eine auffallend geringe Anzahl von Hauptwurzeln, die sich, dünn wie Zwirnsfäden, fest nur im oberen Drittel der Gefäße entwickelt hatten. Das kümmerliche Gedeihen der Wurzeln in diesen Zylindern dürfte ebenso wie das des Krautes und der Kartoffeln (vgl. S. 53) auf das gänzliche Fehlen der Wurmlöcher zurückzuführen sein und ferner darauf, daß dieser besonders hart präparierte Nährboden den schwachen

Wurzeln bei ihrem Vordringen in die Tiefe allzu großen Widerstand entgegensetzte; außerdem fehlen jegliche Bedingungen der so wichtigen Luftzirkulation.

Charakteristische Unterschiede lassen bei den Versuchen in den Blechzylindern auch Krautlänge und Wurzelgewicht wie das Gewicht der Knollen erkennen:

Gruppe I: (Sand) Pfl. . . .	1	2	3	4
Krautlänge (cm)	57,5	50	30	70
Wurzelgewicht (frisch) g . .	17,2	10,9	13,1	19,2
„ (trocken) g . .	2,2	1,7	1,8	2,6
Knollengewicht g	340,7	170,5	221,5	330,6
Gruppe II: (lose eingef. Erde)				
Krautlänge (cm)	100	95	110	115
Wurzelgewicht (frisch) g . .	19,8	28,6	28,5	14,3
„ (trocken) g .	3,3	5,6	4,9	2,6
Knollengewicht g	662,2	949,7	898,4	766,8
Gruppe: III. (fest eingestampfte Erde)				
Krautlänge (cm)	75	70	73,5	70
Wurzelgewicht (frisch) g . .	5,3	3,8	10.8	4,6
„ (trocken) g . .	0,8	0,3	1,5	0,3
Knollengewicht g	290,8	191,2	316,8	114,6

Während sich also die Pflanzen der Gruppen I und III in bezug auf Krautlänge, Wurzelgewicht und Knollengewicht recht dürftig entwickelt haben, weist Gruppe II namentlich hinsichtlich Wurzelzahl annähernd ähnliche Verhältnisse wie im freien Felde auf:

	im Felde	in Blechzyl.	in Kästen Lehm	Sand
Durchschnittl. Wurzelzahl: . .	34,74	35,00	67,83	45,00
Durchschnittl. Krautlänge: . . .	60,46	105,00	66,50	69,20

Zum Vergleiche seien die Ergebnisse Kläseners herangezogen, der ebenfalls in Blechzylindern Untersuchungen anstellte; er sagt: „Interessant ist, daß sowohl die Topfpflanzen als auch die Pflanzen im freien Felde durchschnittlich die ungefähr gleiche Anzahl Wurzeln besaßen:

	Durchschnittl.	im Felde	in Töpfen
„Up to date“		30,10	30,08
„Thieles weiße Riesen“		39,40	35,50“[1])

Die Ergebnisse Kläseners sind also denen in unserer Arbeit ziemlich gleich.

III. Die Bedeutung der Wurmröhren.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß von Gruppe VI, also vom Stande der Höchstentwicklung der Wurzel ab, ihr Abbau beginnt, und zwar fast um ein Drittel des gesamten ursprünglichen Gewichtes. Die Tiefenentwicklung der Wurzel schreitet aber stetig vorwärts und erreicht bei Gruppe VIII Pflanze Nr. 10 mit einem Tiefenwachstum von 219 cm ihr äußerstes Tiefenmaß. Pflanze Nr. 7 der Gruppe VIII weist 213 cm auf. Es zeigt sich also, daß die Zahl der Hauptwurzeln sich von Gruppe VI an steigert (Gruppe VI im Mittel 36,1; Gruppe VII 40,7; Gruppe VIII 42; Gruppe IX 41,3). Aus der Abnahme des absoluten Gewichtes der Wurzel folgt aber, daß das Schwinden der Wurzeln an den oberen Teilen stattfindet, die die oberste Ackerkrume durchsetzen. Diese Tatsache beweist, daß die Pflanze die Nahrungsaufnahme allmählich zum Abschluß bringt und das sie der trotzdem immer tiefer gehenden Wurzeln vorwiegend zur Wasseraufnahme bedarf; denn man kann nicht annehmen, daß die Kartoffelpflanze ein so überaus wichtiges Organ der Ernährung, wie ihr Wurzelsystem darstellt, rückbildete, wenn zu ihrer weiteren Entwicklung noch eine umfangreiche Nahrungsaufnahme nötig wäre. Diese Vermutung bestätigen auch eigenartige Beobachtungen bei tiefgehenden Wurzeln, von denen sehr oft solche angetroffen wurden, die in Röhren oder Wurmlöchern, frei pendelnd, hinabwuchsen; z. B. legten wir bei Pflanze Nr. 8 Gruppe V eine Wurzel von 125 cm Tiefgang frei, deren unteres, 19 cm langes Ende frei im Wurzelloch schwebte und sich bequem herausziehen ließ.

Bei folgenden Wurzeln wurde ähnliches gefunden:

---

[1]) Kläsener, 46, S. 40.

	Wurzeltiefgang cm	frei schwebendes Ende cm
Gruppe V, Pfl. Nr. 10:	114,5	24
„ VI, Pfl. Nr. 4	152	30
	122	32
	122,5	**45,5**
„ VI, Pfl, Nr. 7	125	30
	142	21
	118	26
	145,2	23,2
„ VIII, Pfl. 8	195	22
„ IX, Pfl. 2	176,4	31
„ IX, Pfl. 8	182,3	37,2

Es liegt die Vermutung nahe, daß diese sich in verhältnismäßig große Tiefen erstreckenden, mit einem großen Stücke ihres unteren Endes frei im Wurmloche schwebenden Wurzeln der Wasseraufnahme dienen. „Diese tief nach unten verlaufenden Wurzeln bei Flach- oder Büschelwurzlern im Gegensatz zu Pfahlwurzlern werden ohne Zweifel Nährstoffe auszunutzen vermögen, denen sie auf ihrem Wege begegnen. Die Hauptfunktion der tiefer verbreiteten Wurzeln dürfte aber wohl die gesicherte Wasseraufnahme sein".[1]) Ebenso kam H. Thiel[2]) infolge der Beobachtung, daß er in den wurmröhrenartigen Kanälen die Wurzeln dem Boden nicht fest anliegend fand, zu dem Schluß, „daß diese Wurzeln nicht Nährstoffe aufnehmen könnten, wie die den Bodenteilchen fest anliegenden oberen Wurzeln, sondern daß sie nur die Wasseraufnahme vermitteln."

Freilich weist Sachs[3]) nach, daß die Wurzeln Wasserdampf nicht aufnehmen; dagegen nimmt Hensen[4]) an, daß der unterirdische Tau eine große Rolle spiele.

Das führt uns zu der so häufig behandelten Frage: Welchen Einfluß üben die Wurmlöcher auf die Entwicklung des Wurzelsystems aus? Zunächst seien die Ergebnisse der bisherigen Forschung über diese Frage dargelegt.

Edward John Russel-Rothamsted weist in seiner Arbeit[5]) darauf hin, daß schon der englische Forscher Gilbert White im

[1]) Kühn, 59, S. 162.
[2]) H. Thiel, 139.
[3]) Sachs, 116, S. 6.
[4]) Hensen, 38, S. 694ff.
[5]) Russel, 112.

Jahre 1767 den Regenwürmern einen großen Einfluß auf die Bodenfruchtbarkeit und auf die Pflanzenwurzeln zuschreibt. White sagt: „Die Würmer scheinen große Beförderer der Vegetation zu sein, die ohne sie nur unvollkommen würde. Die Tiere durchlöchern und lockern infolge ihrer bohrenden Tätigkeit den Boden und machen ihn dadurch zugänglicher für den Regen und für die Pflanzenwurzeln", womit angedeutet sein dürfte, daß die letzteren in den von den Würmern gebohrten Röhren ihren Weg in die Tiefe suchen. Eine ausführliche Behandlung erfährt dieses Thema durch H. Thiel[1]). Er kommt zu dem Ergebnis, daß die Pflanzenwurzeln sich im lockeren Obergrunde ihren Weg allein bahnen können, daß sie dagegen in festeren Bodenschichten nur bereits vorhandenen Wegen nachzugehen vermöchten, also vor allem den Wurmröhren, daß die Pflanzenwurzel sich den Untergrund überhaupt nur auf dem Wege vorgefundener Röhren zu erschließen vermöchte. Thiel hat richtig beobachtet, daß Pflanzenwurzeln zum Teil nicht in den Grund eingebohrt sind, sondern frei in Röhren liegen, die bis zu einer Tiefe von 2 m (Beobachtung an der Wand einer Mergelgrube auf einem mit Klee bestandenen Acker) in den Boden eindringen.[2]) Er behauptet weiterhin, daß ausschließlich die freien Wurzeln den bequemen Weg des Tiefenwachstums in den Wurmröhren wählen und daß der Geotropismus von geringerer Bedeutung sei, als die Botaniker annehmen, da die Wurzel im freien Lande den schon natürlich vorgebildeten Wegen folgten. Diese Ansicht hält jedoch den neueren Forschungen nicht stand, worauf besonders Keup[3]) hingewiesen hat.

Eine wesentliche Förderung brachte die 1881 erschienene Arbeit von Darwin[4]). Zwar hatte Darwin schon 1837 Beobachtungen über die Regenwürmer angestellt, doch blieb die kurze Abhandlung unbeachtet. Erst als Greis nahm er die Arbeit auf diesem Spezialgebiet wieder auf. Ein Jahr vor seinem Tode erschien seine grundlegende Monographie, in der Darwim wohl die ganz gewaltige Bedeutung der Regenwürmer und ihrer Röhren für das Pflanzenwachstum darlegt, aber die der Wurmröhren für

[1]) H. Thiel, 138.
[2]) H. Thiel, 139.
[3]) Keup, 45, S. 555.
[4]) Darwin, 16.

die Wurzeln nur streift. Erst der deutsche Physiologe Viktor Hensen stellte bei seinen Untersuchungen[1]) als Hauptnutzen der Regenwürmer in den Vordergrund, daß nur durch die Gänge derselben den Wurzeln ein Vorwärtsdringen in größere Tiefen möglich sei. „Das besondere Interesse, das sich an die Biologie des großen Regenwurmes (Lumbricus terrestris, Anm. d. Verf.) knüpft, liegt nun darin, daß in etwa der Hälfte der nicht ganz frisch gegrabenen Röhren sich Wurzeln von den auf der Oberfläche wachsenden Pflanzen finden. Diese Röhren müssen in der Tat dem Wachstum der Wurzeln sehr günstig sein. Ist nämlich einmal eine Wurzelfaser in ein solches Rohr eingetreten, so kann sie, ihrer Schwere folgend, in der feuchten, an Kohlensäure und wahrscheinlich auch an Ammoniak reichen Luft des Ganges fortwachsen, ohne auf den geringsten Widerstand zu treffen und findet dabei feuchte, lockere und fruchtbare Erde (die an den Wandungen der Röhre angesetzten Exkremente des Wurmes), deren qualitative Zusammensetzung sich nicht von der mehrjähriger Blättererde unterscheidet, im Überfluß.

Kaum dürften günstigere Bedingungen für das Wachstum der Wurzeln von Landpflanzen zu finden oder anzugeben sein.“[2])

Thiel führt an, daß es bei seinen Untersuchungen über die Verbreitung der Wurzeln auf einem abgeernteten Kornfelde mit gelbem, lehmigem Sande nicht möglich war, Wurzeln außerhalb der Röhren von Regenwürmern in lehmigem Untergrunde nachzuweisen, während er in denselben eine große Anzahl traf. Er gibt als Beweis für seine Ansicht an, daß wohl „die Pfahlwurzeln und überhaupt solche Wurzelformen, die mit dickerer Spitze vorwärtswachsen, sich selbst den Weg in den Untergrund bahnen können; dagegen werden die feinen und biegsamen, zwirnsfadendünnen Saugwurzeln wie die des Getreides den Weg in die Tiefe schwerlich anders gewinnen können als durch solche vorgebahnten Wege.“[3])

Er erkennt also den Geotropismus allein nicht als genügende Erklärung für großen Tiefgang der Wurzeln an, sondern schreibt den abwärts führenden Röhren der Regenwürmer den Einfluß zu, daß in ihnen überhaupt erst die primäre Ursache zum Ab-

[1]) Hensen, 38, S. 669ff. und S. 84.
[2]) Hensen, 38, S. 669.
[3]) Gleisberg, 26, S. 248.

wärtswachsen der Wurzeln in größere Tiefen zu suchen sei. „Also nur da, wo Regenwürmer sich finden, werden die Wurzeln einjähriger Gewächse tief in den Untergrund eindringen können.“[1]) „Dabei wird aber nicht berücksichtigt, daß die Wurzeln, wenn sie auf eine solche Röhre treffen, ohne die Wirkung eines gewissen Geotropismus unter Umständen ebenso nach oben wachsen könnten, wie sie es in Wirklichkeit stets nach unten tun. Daß weiter aber tatsächlich bei dem Wachstum der Pflanzen stets das Bestreben herrscht, daß der Stengel in der Richtung der Zentrifugalbeschleunigung wächst, die Wurzel aber in entgegengesetzter Richtung, ist durch die von Botanikern häufig angestellten Versuche nachgewiesen, in denen man Pflanzen von verschiedenster Art auf dem Umfang eines beständig rotierenden Rades kultivierte. Dabei wuchsen stets die Wurzeln nach dem Mittelpunkte der Bewegung zu, in der gleichen Weise wie die in der Erde lebenden Wurzeln als Hauptrichtung die nach der Mitte der Erde innehalten. Da sie aber nicht bloß geotrop, sondern auch hydrotrop, der Feuchtigkeit nachwachsend, und trophotrop, der Nahrung nachgehend sind, weichen sie öfters von der senkrecht nach unten zeigenden Richtung ab.

Daß also das Hinabwachsen der Pflanzenwurzeln in größere Tiefen unmöglich allein durch das mehr oder weniger zufällige Vorhandensein der Gänge von Regenwürmern veranlaßt sein kann, daß es vielmehr als in einem bestimmten Lebensgesetze der als lebender Organismus zu betrachtenden Pflanze begründet anzusehen ist, darüber kann wohl nach dem oben Gesagten kein Zweifel mehr sein.“[2])

Daß schwache Pflanzenwurzeln den bedeutenden Widerstand eines gewöhnlichen, oft auch außerordentlich harten Untergrundes überhaupt überwinden können, weisen die Versuche Pfeffers[3]) nach. Die Turgorenergie, mittels deren die Pflanzen diese Kraftleistung zustande bringen, beträgt in wachsenden Zellen 4—15 Atmosphären (4—15 kg pro qcm), bei mechanischer Hemmung aber noch bis um $^1/_3$ mehr. Selbst in den dünnen Keimwurzeln

---

[1]) Hensen, 38, S. 670.
[2]) Holdefleiss, 41, S. 186ff.
[3]) Pfeffer, 97.

wird nach Pfeffer ein Druck von mehreren 100 g pro Wurzelquerschnitt ausgeübt. „So erklärt es sich, daß nach demselben Beobachter die Keimwurzeln von Vicia faba, die einen Maximalaußendruck von 300—400 g beim Vordringen entwickeln im zähen Lehmboden, der ihnen durchschnittlich einen Widerstand von 100—120 g entgegensetzt, fast ebenso schnell vorwärtswachsen wie in Wasser. Bei den Wurzeln von Zea mays u. a. stellte Pfeffer eine Druckkraft bis zu 10 Atmosphären in der Längsrichtung und 6 Atmosphären in der Querrichtung fest. Dabei nehmen die Turgorkräfte langsam nach der Spitze hin zu, wo sie ihre Maximalzone erreichen. Mit der Zone größter Turgorspannung fällt, wie dies Haberlandt[1]) grundlegend nachgewiesen hat, die Zone größter geotropischer Sensibilität zusammen. Aus diesen Tatsachen folgt aber, daß alle Wurzeln mit ansgesprochen geotropischer Reizbarkeit, also alle primären, zum Teil auch noch die sekundären (plagiotropen) Wurzeln, mit ihrer ganzen Turgorkraft den Weg in die Tiefe suchen müssen."[2])

Holdefleiss kommt zu der Folgerung: „Eine bloße, a priori angestellte Erwägung, daß es nicht recht denkbar sei, wie die feinen Wurzeln ohne Hilfe der Regenwürmer in die Tiefe gelangen könnten, hat also noch keine Beweiskraft und führt bei der vorliegenden Frage nicht zum Ziele. Es steht vielmehr fest, daß selbst auch sehr feine Wurzeln ohne vorgebahnte Wege in verhältnismäßig feste Bodenschichten eindringen können. Man kann dagegen wohl annehmen, daß die Wurzeln nur insoweit in die Gänge der Regenwürmer hineinwachsen, als sie in denselben Feuchtigkeit finden, ähnlich, wie sie auch oft zahlreich in Drainröhren eindringen. Wo die Wurzel aber in der Regenwurmröhre keine Feuchtigkeit und andere Nährstoffe mehr findet, da wird sie, seitwärts ausbiegend, wieder in die umstehende Erdmasse eindringen, soweit ihr nicht dabei durch die glatt verklebte Wand der Zugang versperrt wird. Ist dies der Fall, so wächst sie auf der Suche nach einer Stelle, wo sie zum Eindringen haften kann, verhältnismäßig schnell abwärts. Auf diesem Wege aber kann sie keine Nahrung außer Wasser aufnehmen, wie ja auch der angeblich hohe Wert der Regenwurmexkremente als an Pflanzen-

[1]) Haberlandt, 32, S. 34.
[2]) Keup, 45, S. 555.

nährstoffen sehr reichem Material zum mindesten sehr zweifelhaft ist; jedenfalls ist ein Vergleich derselben mit 2—3jähriger Blättererde, wie ihn Hensen zieht, nicht berechtigt."[1])

Ebenso wie Holdefleiss wiesen Kühn[2]) und Djemil[3]) die Ansichten Hensens über die alleinige Bedeutung der Wurmröhren für das Tiefenwachstum der Pflanzenwurzeln zurück; Kühn äußert sich folgendermaßen dazu: „Das tiefere Eindringen eines Teiles der Wurzeln in den ungelockerten Untergrund ist keineswegs lediglich durch Wurmröhren bedingt; sondern schon durch die in dem Boden in der Regel häufig vorkommenden Spaltungen und Poren ermöglicht. Diese tiefer nach unten verlaufenden Wurzeln werden ohne Zweifel Nährstoffe auszunützen vermögen; als Hauptaufgabe aber dürfte ihnen die Wasserversorgung zufallen, durch die die Pflanzen befähigt werden, trockene Witterungsperioden besser zu überstehen."

Einen ablehnenden Standpunkt nimmt ebenfalls Djemil ein. Seinen Untersuchungen ist aber entgegenzuhalten, daß der Boden in den benutzten 1 m tiefen und 20 cm weiten Tonröhren nicht dem des freien Landes entsprach; denn der gesamte Boden: a) humusreicher, sandiger Lehmboden, b) schwerer Lehmboden, c) humusreicher grobkörniger Sandboden „war gleichmäßig durch ein 5 mm-Sieb gegangen, so daß alles gröbere Gestein abgesondert war. Außerdem wurde er vor der Einfüllung in die Töpfe in einem Trockenschranke einer Temperatur von über 100° C. während zirka 2 Stunden ausgesetzt, um etwa im Boden vorhandene Embryonen von Regenwürmern abzutöten".[4]) Ferner wurden die Gefäße nicht, wie das freie Land, dem Einfluß der natürlichen klimatischen Niederschläge überlassen, sondern regelmäßig begossen. Es dürfte diese künstliche Zusammensetzung des Bodens wie seine regelmäßige künstliche Bewässerung und dazu die willkürliche Besetzung mit Regenwürmern (je eins von den 9 Paaren der Versuchstöpfe wurde mit 50 Regenwürmern besetzt) eine ganz andere Entwicklung des Wurzelsystems wie im freien Lande zur Folge haben.

---

[1]) Holdefleiss, 41, S. 188.
[2]) Kühn, 59, S. 162.
[3]) Djemil, 19, S. 11 ff.
[4]) Djemil, 19, S. 15.

Die Folgerung, „die Wurzelverbreitung war in den 1 m hohen Töpfen vollständig normal wie etwa im freien Lande“[1]) dürfte zurückzuweisen sein. Dafür spricht auch die Tatsache, daß die Wurzeln sowohl in als auch außerhalb der Wurmröhren die 1 m mächtige Erdschicht nicht durchdringen konnten. Es sind überhaupt alle Untersuchungen und Ausgrabungen von Wurzelbildungen abzulehnen, die von den natürlichen Verhältnissen abweichen, weil sie nicht unter den Bedingungen des „gewachsenen“ Bodens gediehen sind; denn „es gelingt trotz der größten Sorgfalt nicht, eine Dichtigkeit der Lagerung des Bodens zu erzielen, wie sie auf dem freien Felde in den tieferen Schichten vorhanden ist. Darauf deutet schon das Einsinken des Bodens um 10 bis 12 cm hin. Die Wurzeln werden daher in der Tiefe vielleicht etwas weniger Widerstand finden als auf dem freien Felde.“[2]) Schulze-Breslau gibt selbst zu, „daß Einsiedlerpflanzen (d. h. solche Pflanzen, die in Röhren oder Gefäßen zwecks Umgehung der fast unmöglichen Arbeit der verlustlosen Wurzelisolierung im freien Lande gezogen wurden) nicht immer den Typus einer Normalpflanze haben können.“[3])

Er selbst benutzte aber Zellen mit 60 × 60 cm lichtem Innenraum und 2 m Tiefe, die an drei Seiten von gut zementiertem Mauerwerk begrenzt, an der vierten Seite offen und mit Erde gefüllt waren. Die Wurzelentwicklung wird hier kaum der unter den Verhältnissen des gewachsenen Bodens gediehenen Pflanzen entsprechen, wenn auch die 2 m tiefe Erdschicht der Zellen mit dem unteren Ende auf natürliches Erdreich stößt, so daß die Wurzeln ungehindert in die Tiefe wachsen können. Das Einfüllen der Erde, „die durch Einstampfen, eventuell unter Wasserzusatz, in eine dem natürlichen Boden möglichst gleichartige Dichte der Lagerung gebracht wird“,[4]) kann viele Bedingungen für ein bequemes Tiefenwachstum der Wurzeln im freien Lande nicht erfüllen. Gehalt an alten Wurmröhren, an abgestorbenen Wurzeln perennierender Gewächse, an Gesteinslagerungen und chemischen Veränderungen, namentlich in größeren Tiefen, insbesondere auch an natürlichen Wasseradern wird hier mehr oder

[1]) Holdefleiss, 41, S. 195.
[2]) Schulze, 121, S. 9.
[3]) Ders., 121, S. 6.
[4]) Ders., 121, S. 7.

weniger förderlich sein. Namentlich dürfte ganz erschwerend ins Gewicht fallen, daß jeglicher Einfluß der wühlenden und grabenden Kleintiere im Boden fehlt, also besonders der der Regenwürmer, der Enchyträiden, der Nematoden, der Colembolen, Myriapoden, Maulwürfe, Insekten und deren Larven, insbesondere Käfer, ferner Ameisen, Termiten.[1]) Es wird die Entwicklung der Wurzeln in der 2 m künstlich aufgefüllten Erdschicht in den Zellen ganz abweichend von der im gewachsenen Boden verlaufen. Auffallend ist z. B. der peinlich geradlinige Verlauf der Wurzeln aller untersuchten Pflanzen, die Schulze in den Zellen anbaute (s. Festschrift, Tafel I—XX).

Nur die Ausgrabung von Wurzeln im freien Lande[2])[3]) kann uns ein vollständiges Bild ihrer Entwicklung geben. Die ungeheure Wichtigkeit der Beobachtung und Untersuchung dieser Organe, deren Arbeit allein die Steigerung des Ertrages an oberirdischen Pflanzenorganen und damit der Ernten unserer heimatlichen Scholle zu verdanken ist, erfordert eine Anwendung anderer besserer Methoden, die aufzufinden das Ziel künftiger Wurzelerforschung sein muß.

Aus ähnlichen Gründen dürften auch die Topfversuche für Wurzeluntersuchungen keine sicheren Zahlen ergeben. Das geht deutlich hervor aus den Untersuchungen von Hellriegel[4]), Lindley[5]), Sachs[6]) und v. Pistohlkors[7]), auf die hier deshalb nur verwiesen zu werden braucht.

Über die Bedeutung der Wurmröhren in einem Untergrunde, in dem die Atmosphärilien den festen Verband verkitteter Schichten nicht zu lockern vermögen, sagt R. Goethe[8]), daß in solchen Fällen das Anlangen der Wurzelspitze in der Röhre eines Wurmes gleichbedeutend ist mit der mühelosen Durchwachsung der Schicht.

Wenn er bei seinen Untersuchungen auch eine größere Zahl unbenutzter Wurmröhren fand, so erklärt er das damit, daß nur

---

[1]) Ramann, 102, S. 138.
[2]) Rotminstroff, 108, S. 515.
[3]) Dehèrain, 17, S. 12 a.
[4]) Hellriegel, 37, S. 119 ff.
[5]) Lindley, 66a, S. 189.
[6]) Sachs, 117, S. 201, 117a, S. 171.
[7]) v. Pistohlkors, 98, S. 102.
[8]) R. Goethe, 28, S. 30 ff.

primäre Wurzeln senkrecht in die Tiefe zu wachsen bemüht sind, während die sekundären, geotropen Wurzeln die Neigung zu seitlichem Wachstum in sich tragen, der sie, selbst wenn sie in einer Wurmröhre ein Stück senkrecht hinuntergewachsen sind, doch immer wieder folgen werden, sobald eine Öffnung in der Röhrenwand Gelegenheit dazu bietet."[1]) (Holdefleiss, l. c. S. 188.)

„Sind also die Regenwürmer (und damit die Wurmlöcher) nicht die unbedingt notwendige Vorbedingung für die Tiefenerreichung aller Wurzeln, so sind sie doch zum mindesten Förderer derselben und sicherlich Ersparer von Energieaufwendungen im Haushalt der Pflanzen. Die Bedeutung des letzteren Dienstes ist ohne weiteres durch den erleichterten Stoffansatz für das Ernteergebnis klar."[2])

Zu ganz anderen Ergebnissen gelangte der russische Forscher Wyssotzky, der in sorgfältigen, leider wenig bekannten Untersuchungen feststellte, daß in den Steppenländern des südlichen Uralgebietes die dort vorherrschende große Regenwurmgattung Allolobophora mariupoliensis für das Pflanzenwachstum von allergrößter Bedeutung ist.[3])

Zwar gibt es einige Tiere, wie Maulwürfe und Mäuse, die den dortigen sehr harten Untergrund mit ihren Gängen durchwühlen können; da sie aber höchstens bis zu einer Tiefe von 4 m hinabsteigen, benutzen die Wurzeln mit Vorliebe die 5 bis 7 mm weiten Röhren des genannten Regenwurms, der bis 8 m in die Tiefe geht und dessen Röhrenzahl ganz bedeutend ist. So kamen nach Beobachtungen von Wyssotzky im Weliko — anatolischem Gebiet auf die Fläche eines horizontalen Schnittes von 1 qm in der Tiefe von 1 m 525 leicht sichtbare Gänge.[4]) „Die Wurzeln werden durch die Gänge erst, wie die Beobachtungen Wyssotzkys gezeigt haben, in den Stand gesetzt, in solche Tiefen in den Untergrund hinabzugehen, daß sie auch in den Zeiten der Dürre noch genug Feuchtigkeit finden. Nachstehende Tabelle kann eine Vorstellung davon geben, in welcher Zahl die Wurzeln tatsächlich diese wichtigen, ihnen von den Würmern eröffneten Wege benutzen:

---

[1]) R. Goethe, 28, S. 34.
[2]) Keup, 45, 567 f.
[3]) Heymons, 40, S. 120 ff.
[4]) Kossowitzsch, 52, S. 246.

Auf einzelnen Flächen zu 200 qcm	Zahl der Wurmgänge	Sonstige Gänge	Gänge mit Wurzeln	Wurzeln außerhalb der Gänge
1.	6	1	—	—
2.	9	2	2	—
3.	10	4	1	1
4.	8	5	3	—
5.	7	5	4	—
6.	13	4	1	—
7.	7	2	1	—
Im ganzen auf der Fläche von 1400 qcm . . .	59	23	12	1
Umgerechnet auf 1 qm .	421	161	85	7.[1])

Wyssotzky hat also festgestellt, daß nur $^1/_{12}$ aller Wurzeln außerhalb der Wurmröhren in die Tiefe wuchs und daß $^3/_4$ aller Gänge Wurmröhren darstellen. Er hat aber weiter die gewaltige Bedeutung der Regenwürmer für den Wald und namentlich für die Anforstungen hervorgehoben. Steppenland in Waldland umzuwandeln gelingt nach ihm nur auf Grund des Vorhandenseins genannter Regenwurmart; „denn, wie sich gezeigt hat, sind selbst die Wurzeln der Waldbäume nicht fähig, den harten Untergrund zu durchdringen, sondern können nur unter Benutzung der im Boden vorhandenen Wurmgänge die nötige Tiefe erreichen, die ihnen das Gedeihen in der trockenen Steppenregion gestattet.“[2]) Wir lernen hier ein besonders drastisches Beispiel hinsichtlich der Abhängigkeit der Vegetation von den Regenwürmern kennen. „Ohne jene großen Regenwürmer gibt es in der dortigen Gegend keinen Wald; denn wenn aus irgend welchen Gründen diese wichtigen Würmer überhaupt aussterben sollten, so wird auch die gegenwärtig dort vorkommende Steppenvegetation mindestens größtenteils dem Untergange anheimfallen, und es müßte schließlich an die Stelle der Steppe die kahle Wüste treten.“[3]) Auch Thatschenko beobachtete, „daß von Tieren (namentlich kleinen Nagetieren, wie kleine Blindmaus, Zieselmaus, Bobak, Hamster und verschiedene andere Mäusearten) verlassene sogenannte „Maulwurfsgänge“ als Bahnen dienen, auf denen die Pflanzenwurzeln in die Tiefe dringen.“[4])

[1]) Wyssotzky, 166, S. 121.
[2]) Heymons, 40, S. 121.
[3]) Ders., 40, S. 122.
[4]) Thatschenko, 136.

Auch andere Beobachter haben gefunden, daß Regenwürmer sich sehr tief in die Erde graben. So erwähnt Meyer: „Ich habe in Ungarn bei einer Ziegelei der Staatsdomäne Kister an einer senkrechten Wand beobachtet, daß derartige Röhren bis in eine Tiefe von $6^1/_3$ m hinabgetrieben waren, in denen ich den Wurm, im Lager sitzend, gefunden habe. Ich habe auch im Banat im schweren schwarzen Lehmboden auf mehreren Stellen bis zu 4 m Tiefe die Röhren und in denselben die Würmer gefunden". [1]) Darwin fand als größte Tiefe 66 Zoll, [2]) gibt aber an, daß in Norddeutschland die Würmer nach Hoffmeister eine solche von 7—8 Fuß erreichen. Ebenso konstatierte Goethe [3]) einen Tiefgang der Regenwürmer über 3 m. von Lengerke [4]) stellte gelegentlich einer Ausschachtung fest, daß Röhren von Regenwürmern, die durch ihre mit schwarzem Humus und Wurmexkrementen ausgepolsterten Wände in dem weißen Sand leicht erkenntlich waren, senkrecht bis zu einer Tiefe von 8 Fuß hinabreichten. Die Wurzeln waren bis zu gleicher Tiefe in diesen Röhren hinabgestiegen, während sie den Sand mieden; denn die Röhren boten ihnen Nahrung und erleichterten das Abwärtswachsen. v. Lengerke fand pro Quadratfuß mindestens 6 Wurmgänge, die den Pflanzen als Speisekammer zur Verfügung stehen, in denen sie ihre Wurzeln hinabsenden und zwar bis zu einer Tiefe, wohin der Pflug nimmermehr zu dringen vermag. Daß dieser Umstand von ganz besonderer Bedeutung für den schweren und schwersten Boden ist, leuchtet um so mehr ein, als den Wurzeln dadurch die Möglichkeit geboten wird, nach Nahrung und Wasser suchend, so tief hinabzudringen. Es ist auch wahrscheinlich, daß die Erscheinung der sogenannten Kleemüdigkeit und die Tatsache, daß die Tiefwurzler immer nur nach einer gewissen Reihe von Jahren auf sich selbst folgen dürfen, hiermit in Zusammenhang gebracht werden kann. Wenn nämlich der Klee oder die Zuckerrübe mit ihren tief hinabreichenden Wurzeln die in den Wurmröhren enthaltene Nahrung aufgesogen haben, dann bedarf es einer gewissen Zeit, bis der Regenwurm neue Röhren mit frischer Pflanzenspeise

---

[1]) Meyer, 74a, S. 93.
[2]) Darwin, 16, S. 62.
[3]) Goethe, 28.
[4]) v. Lengerke, 62a, S. 445.

gleichsam als „Koch der Pflanze“ hergestellt oder alte Röhren aufs neue damit versehen hat.

Mitscherlich ist der Meinung, daß der Regenwurm in größeren Tiefen nicht eigene neue Gänge gräbt, sondern „daß er bei seinen Exkursionen in die tieferen Bodenschichten mehr den absterbenden Wurzeln unserer Tiefwurzler nachgeht und so die durch sie geschaffenen Hohlräume erweitert.“[1]) Mitscherlich erkennt die Bedeutung der Wurmröhren als Wege für die Pflanzenwurzeln in größere Tiefen an: „Ähnlich wie viele tief wurzelnde Kulturpflanzen als Pioniere den Untergrund anderen Pflanzen zugänglich machen, ähnlich sind auch die Regenwürmer tätig.“[2])

„Alles was der Pflanzenwurzel erschwert, in tiefere Bodenschichten einzudringen, wie der Gehalt des Bodens an Steinen, an grobem Sand und anderem mehr, erfordert einen reichen Energieaufwand und vermindert damit den Ertrag. Findet also die Wurzel keine Hindernisse, sondern schon geebnete Wege, also auch Wurmröhren vor, dann wird sie leichter in um so größere Tiefen hinabsteigen.“[3])

Ramann gibt den Tiefgang der Regenwürmer auf 2 m und mehr an; „die großen Formen der europäischen Regenwürmer gehen bis 5 und selbst 7 m tief“[4]) (s. Wyssotzky, a. a. O. S. 64). Auch v. Seelhorst stellte Untersuchungen über den Einfluß der Wurmlöcher auf die Zahl und den Tiefgang der Wurzeln an und fand, „daß ein Zusammenhang zwischen der Zahl der Wurmlöcher und der Zahl und dem Tiefgang der Wurzeln nicht konstatiert werden konnte“, allerdings mit der Einschränkung, „daß in den Tiefen die noch nachweisbaren Wurzeln häufiger in den Wurmlöchern gefunden werden, ohne daß das Vorkommen der Wurzeln in den Wurmlöchern als Beweis dafür angesehen werden könne, daß sie dieser hier unbedingt bedurft hätten“.[5]) Bei Betrachtung dieser Ergebnisse von Seelhorsts darf nicht übersehen werden, daß es sich um Frühkartoffeln handelt, die in 75 cm Tiefe keine Wurzeln mehr aufwiesen, ja, deren Wurzeln nach v. Seelhorsts Angaben[6]) schon bei 40 cm zu Ende waren; außerdem konnte

[1]) Mitscherlich, 76, S. 105.
[2]) Ders., 76, S. 105.
[3]) Ders., 76, S. 105.
[4]) Ramann, 101, S. 487.
[5]) v. Seelhorst, 127, S. 95.
[6]) Ders., 127, S. 95.

bereits in 25 cm Tiefe die Zahl der Wurmlöcher nicht sicher ermittelt werden, weil der Boden zu locker war.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Kassnitz, der folgendes angibt: „Die von Hensen aufgestellte Behauptung, daß die Pflanzenwurzeln den von Würmern vorgegrabenen Röhren folgten, kann ich nicht bestätigen; es mag sein, daß ein Teil der früheren Wurmröhren, in die Wurzeln hineingewachsen waren, zugeschlämmt worden sind, so war doch leicht festzustellen, daß die Wurzeln, besonders auch die Nebenwurzeln, auch ohne Wurmröhren ihren eigenen Weg gegangen waren.“ [1]) Beckmanns Untersuchungen ergaben, „daß die Hohlräume nicht auf die Wirkung von Würmern zurückzuführen zu sein brauchen; aber doch kann die Verbreitung der Wurzeln einer nachfolgenden Vegetation in einem dichten Untergrund gefördert werden“. [2])

Bei unseren Untersuchungen fanden wir, daß der Teil des Versuchsfeldes, der uns zugewiesen worden war, einen verhältnismäßig hohen Feuchtigkeitsgrad namentlich in größerer Tiefe aufwies. Es scheint besonders der Wassergehalt des Erdreichs für das Gedeihen der Regenwürmer unerläßlich zu sein. „So teilt Goethe mit, daß er in dem reich gedüngten Schieferboden des Rüdesheimer Berges bei 1 m Tiefe 9—12 Würmer auf den Quadratmeter gefunden habe, während sich an trockenen Stellen der Rheinebene nur 2—3 Regenwürmer auf einer entsprechenden Fläche gezeigt hätten. In Getreideböden bleibt nach Ramann ihre Zahl meist gering und nur an feuchten Stellen zeigen sie sich dort häufiger. In Heidegegenden fehlen sie fast gänzlich.“ [3])

Darwin gibt an, daß die riesenhaften, turmartigen Exkrementhaufen indischer Regenwürmer in jenen Tropenländern nur während der Regenzeit ausgeworfen wurden, daß sich aber während der heißen Jahreszeit die Würmer in eine größere Tiefe einbohren. [4]) Doflein [5]) fand während des Feldzuges in Mazedonien keine Regenwürmer; dieses gänzliche Fehlen hängt mit dem heißen (60 bis 70° C. in den Monaten Juli bis September) und trockenen Sommer wie mit der Bodenbeschaffenheit (Mangel jeglicher Humusschicht

[1]) Kassnitz, 44, S. 315.
[2]) Beckmann, 2.
[3]) Heymons, 40, S. 101.
[4]) Darwin, 16, S. 70.
[5]) Ude, 148, S. 165.

auf den Felsen) zusammen. Der reiche Gehalt unseres Versuchsfeldes an Regenwürmern war schon äußerlich gekennzeichnet durch eine große Menge von Wurmröhren, die den Boden wie ein grobmaschiges Sieb durchlöcherten.

Besonders zahlreich traten die Wurmröhren in größerer Tiefe auf, wo toniger Lehm anstand; denn während bei der Entnahme schon der ersten Gruppen unserer Kartoffeln gefunden wurde, daß fast alle Wurzeln über 1 m Tiefe den Wurmlöchern nachgegangen waren, erreichten die Wurzeln der letzten Gruppen ihre größte Tiefe nur mit Hilfe der Wurmröhren. Es konnte bei diesen letzten Gruppen fast keine Hauptwurzel festgestellt werden, die außerhalb eines Wurmloches in diese große Tiefe von über 2 m vorgedrungen wäre; die Wurzel mit dem größten Tiefgang, die sich ihren Weg im gewachsenen Boden gebahnt hatte, fand sich bei Gruppe VII, Pflanze Nr. 6, sie erreichte eine Tiefe von 140 cm.

Im folgenden sei eine Aufstellung der Gruppen I—IX bezüglich ihrer Hauptwurzeln mit und ohne Wurmröhren gegeben:

Gruppe	Zahl der Hauptwurzeln	davon in Wurmlöchern	%	davon im freien Lande	%
I . . .	211	28	13,27	183	86,73
II . . .	310	105	33,87	205	66,13
III . . .	333	189	56,75	144	43,25
IV . . .	339	223	65,78	116	34,22
V . . .	344	237	68,89	107	31,11
VI . . .	361	300	83,11	61	16,89
VII . . .	407	371	91,15	36	8,85
VIII . . .	419	383	94,09	36	5,91
IX . . .	413	390	94,43	23	5,57
Summe	3137	2226		911	
Verhältnis			70,96		29,04

Es ergibt sich, daß schon bei Gruppe I, deren Wurzeln eine Durchschnittstiefe von 0—10 cm erreichen, und bei der nur 2 Wurzeln in einer Tiefe von 70—60 cm angetroffen wurden, 13,27 %, also ziemlich $^1/_5$ aller Wurzeln seinen Weg in Wurmröhren abwärts sucht; in Gruppe II sind es 33,87 %, und bei Gruppe III steigt der Prozentsatz sofort auf 56,75 %. Dann bewegt sich die Zahl in stetig aufsteigendem Ast bis Gruppe IX, wo sie mit fast 95 % ihren Höhepunkt erreicht; nur 23 von 413 Hauptwurzeln dieser Gruppe wählten zu ihrem Tiefenwachs-

tum nicht den bequemen Weg der Wurmröhren. Es nimmt also die Zahl der in ihnen hinabsteigenden Wurzeln ständig zu, und bei den Gruppen VII—IX findet sich beinahe keine Hauptwurzel im freien Boden. Vielmehr sehen wir, daß auf dem Versuchsfeld der Universität Göttingen 70 % aller Hauptwurzeln in Wurmröhren abwärts gehen. Die ganz gewaltige Bedeutung derselben ist aus dieser Tatsache deutlich zu erkennen. Kläsener[1]), der seine Arbeiten ebenfalls auf dem Göttinger Versuchsfeld ausführte, fand bei 10 Pflanzen „Göttinger Industrie", die er in der Zeit vom 24. 9. bis 2. 10. aus dem Boden grub, daß von 388 Hauptwurzeln 186 in Wurmlöchern abwärts gegangen waren, also 40,72 %; bei der Gruppe „Ebstorfer Up to date", ebenfalls 10 Pflanzen, von 304 Hauptwurzeln 127 gleich 41,77 %.

Der Unterschied in den Ergebnissen dürfte darin zu suchen sein, daß Kläsener auf einem anderen Stück des Versuchsfeldes, das vielleicht weniger stark mit Regenwürmern besetzt ist, seine Ausgrabungen anstellte und ferner, daß er zu einer anderen Zeit dieselben vornahm. Außerdem darf nicht übersehen werden, daß unsere Untersuchungen in einem mit Niederschlägen sehr gesegneten Jahr, dem ein ebenso feuchtes Jahr vorausgegangen war, vorgenommen wurden. In derartigen nassen Jahren sind Zahl, Bewegungen und Aufenthaltsort der Regenwürmer ganz andere wie in Zeiten großer Trockenheit. Es dürfte die Frage von großem Interesse sein, wie sich die Verhältnisse in extrem trockenen Jahren auswirken.

Leider war in der bekannten Literatur über die spezielle Frage der Bedeutung der Wurmröhren für die Wurzeln nur das Zahlenmaterial von Wyssotzky[2]) zu finden; aus diesem konnte errechnet werden, daß auf 100 Wurzeln in Wurmröhren 8,23 Wurzeln im freien Boden kommen, daß also ein Verhältnis von 100 zu 8,23 besteht, während aus den vorliegenden Untersuchungen ein solches von 100 : 29,04 resultiert.

Oft wurde bei unseren Ausgrabungen gefunden, daß Wurzeln von Kartoffeln mit solchen anderer Pflanzen gemeinsam ihren Weg in die Tiefe nehmen. So fand sich in Gruppe III bei Pfl. Nr. 2 eine Kartoffelwurzel in Gesellschaft mit einer Distelwurzel in einem Wurmloch vor. Erstere schmiegte sich allen Biegungen

[1]) Kläsener, 46, S. 25, S. 43 f.

[2]) Heymons, 40, S. 120.

der letzteren an. Während sie bei einer Tiefe von 1,41 m endete, vermochten wir die Distelwurzel bis über 3 m tief zu verfolgen, ohne ihr Ende erreicht zu haben. Ebenso trafen wir in Gruppe III bei Pfl. Nr. 3 eine Kartoffelwurzel von 1,16 m Tiefgang mit einer Distelwurzel in einem Wurmloch an. Es konnte auch öfter die Tatsache beobachtet werden, daß sich in den von uns verfolgten Wurmröhren, in denen Wurzeln ihren Weg abwärts nahmen, Regenwürmer vorfanden, die sich allerdings mit einer viel größeren Schnelligkeit, als mit welcher der Wurmgang freigelegt werden konnte, in die Tiefe zurückzogen. Meist wiesen derartige besetzte Wurmröhren recht feuchte Wände auf.

Viele Wurzeln, die ihren Weg in einem Wurmloch abwärts nahmen, teilten sich später in mehrere parallel in die Tiefe laufende, oft recht verfilzte Stränge. So spaltete sich in Gruppe II bei Pfl. Nr. 10 eine Wurzel von 84 cm Tiefgang in 5 einzelne Wurzeln, ebenso in Gruppe III bei Pfl. Nr. 7 eine Wurzel von 52 cm Tiefgang in 7 kleine Wurzeln, deren längste 8,8 cm erreichte. In Gruppe III teilte sich bei Pfl. Nr. 8 eine Wurzel bei 88,6 cm Tiefgang in 4 Wurzeln, von denen 2 eine Tiefe von je 1,12 m, eine einen Tiefgang von 1,14 m und eine von 1,17 m aufwies. In Gruppe IV bei Pfl. Nr. 5 fand sich eine Wurzel von 1,05 m Tiefgang mit 4 Endwurzeln, ebenso in Gruppe IV bei Pfl. 9 eine solche von 86 cm Tiefgang mit 3 Wurzeln, deren eine sogar 1,10 m erreichte. Eine Wurzel von Pfl. Nr. 2 in Gruppe V mit einem Tiefgang von 1,39 m zeigte 4 Endwurzeln.

Die Ursache solcher Verzweigungen konnten wir nicht feststellen. Wir fanden ferner, daß mehrere Wurzeln ein gemeinsames Wurmloch benutzten. Sie erschienen wie ein dicker Strang, wie ein Tau, das aus mehreren Teilen zusammengesetzt war und meist frei in die Tiefe wuchs. Es folgt eine Aufstellung über einige solche Wurmröhren:

	Eine Wurzel je Röhre % der Fälle	Mehrere Wurzeln je Röhre % der Fälle	Durchschnittl. Zahl b. mehreren Wurzeln je Röhre
Gruppe II . .	92,38	7,72	3,0
„ III . .	94,18	2,82	4,5
„ IV . .	97,31	2,69	5,0
„ V . .	97,89	2,11	3,5
„ VI . .	98,67	1,33	3,5
„ VII .	98,92	1,08	4,0
„ VIII .	99,48	0,52	4,5
„ IX . .	99,24	0,76	4,0

Diese Beobachtungen lassen deutlich erkennen, wie die Wurzeln bestrebt sind, den bequemsten und nächsten Weg in die Tiefe zu suchen.

In Gruppe III bei Pfl. Nr. 1 wurde eine Wurzel gefunden, die nach Erreichung einer Tiefe von 34 cm von der Vertikalen abbog und 41 cm in horizontaler Richtung ihren Weg suchte. Dieselbe Pflanze wies eine Wurzel auf, die bei einem erreichten Tiefgang von 72,5 cm plötzlich senkrecht emporwuchs, ebenso wie eine Wurzel bei Pflanze Nr. 4 Gruppe III, die ihr ca. 5 cm langes Endstück nach oben gerichtet hatte. Auch für diese allen Wachstumsgesetzen zuwiderlaufenden Wuchsformen konnte keinerlei Erklärung gefunden werden. Es wurden auch einige Wurzeln freigelegt, die in dicht mit Humus oder vermodernden Stoffen angefüllten, vom braunen Untergrund sich schwarz abhebenden Röhren abwärts wuchsen. Wahrscheinlich waren letztere als alte, nicht mehr benutzte und deshalb zugeschüttete Wurmröhren oder mit Überresten früherer Tiefwurzeln angefüllte Wurzelgänge zu deuten.

Jedenfalls aber zeigten diese Tatsachen, wie die merkwürdigen Funde, daß eine Wurzel durch einen ca. 40° zur Senkrechten liegenden, anscheinend von einem Pferde stammenden Röhrenknochen in einer Tiefe von ca. 160 cm hindurchgewachsen war und ferner daß eine andere Wurzel ihren Weg durch die Höhlung eines Kalksteines genommen hatte, daß die Wurzeln überall den am leichtesten gangbaren Weg, dessen Benutzung den geringsten Energieaufwand erfordert, zu wählen bestrebt sind, daß sie deshalb alle bereits geebneten Wege in die Tiefe (Wurmröhren, Wurzelgänge, Röhrenknochen, Drainröhren usw.) dem viel schwereren Eindringen in den gewachsenen Boden vorziehen. „Die Wurzel geht der Nahrung nach, als wenn sie Augen hätte.“[1])

IV. Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen der Kartoffelpflanze.

Neben der Feststellung des Wurzeltiefganges erschien es von Interesse zu untersuchen, ob zwischen der Entwicklung des Wurzelsystems und der oberirdischen Teile bestimmte Beziehungen bestehen, die es vielleicht ermöglichten, aus der Krautentwicklung

[1]) v. Liebig, 66, S. 249.

Rückschlüsse auf die Wurzelentwicklung zu ziehen. Zur Feststellung solcher Beziehungen benutzten wir die Methode der Korrelationsrechnung, wie sie heute in der Pflanzenzüchtung allgemein üblich ist. Streng genommen hätten zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais immer nur die je 10 Pflanzen einer gleichzeitigen Ernte Verwendung finden können. Bei so geringer Zahl ist aber ein sicheres Ergebnis nicht zu erwarten. Wir benutzten deshalb zur Berechnung alle 90 Pflanzen, indem wir von der Annahme ausgingen, daß Wurzel- und Krautentwicklung soweit parallel verlaufen, daß dieses Verfahren zulässig wird. Wir sind uns dabei klar, daß diese Annahme nicht sicher bewiesen ist, glauben aber doch, daß die dadurch bedingten Abweichungen das Verhältnis nicht wesentlich verschleiern. Um eine größere Sicherheit zu erlangen, haben wir außerdem den Vergleich für die je 10 Pflanzen gleichen Alters durchgeführt, natürlich ohne Berechnung des Korrelationskoeffizienten.

Am nächsten liegt zuerst ein Vergleich zwischen Wurzeltiefgang und Krauthöhe. Wir erhalten dabei die Koeffizienten plus $0{,}339 \pm 0{,}093$, also eine positive Korrelation, die allerdings nur angedeutet ist, eine große Sicherheit somit nicht zeigt. Vergleichen wir dagegen die einzelnen Altersgruppen, so scheint die Beziehung noch deutlicher zum Ausdruck zu kommen.

Aus der Übersicht der anliegenden Tabelle S. 45 geht hervor, daß die vermutete und zahlenmäßig errechnete Korrelation zwischen Wurzeltiefgang und Krauthöhe vorhanden ist. Wir erkennen ferner, daß die Wurzellängen sich während der Vegetationsperiode um das Fünffache gesteigert haben; der oberirdische Teil hatte in Gruppe IX, also am Ende der Vegetationszeit, fast das Vierfache der Länge der Gruppe I erreicht, und zwar beobachtet man ein ziemlich gleichmäßiges Ansteigen des Mittels. Nur Gruppe VII weist infolge der Kümmerpflanze Nr. 5 einen kleinen Rückgang auf. Ebenso läßt die Wurzelentwicklung einen ziemlich gleichmäßigen Anstieg erkennen. Es findet sich nur bei Gruppe IV infolge der Kümmerpflanze Nr. 4 und bei Gruppe IX infolge Kümmerpflanze Nr. 9 ein leiser Rückschlag.

In beiden Fällen erfolgt ein rasches Ansteigen von Gruppe I bis III und zwar beim Wurzeltiefgang wie beim Längenwachstum des Krautes um das Dreifache; dann steigen beide Kurven all-

Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III	
Größte Länge		Größte Länge		Größte Länge	
Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel
17	25	21,6	85	50	145
18	25	25	85	50	105
22	25	28,5	95	52	145
23	45	29,9	85	53	135
23	45	35	115	55	105
25	45	38,5	115	55	145
25	55	42	85	55,6	145
26	45	42,5	105	57	115
26	65	45	105	60	145
28	55	45,2	95	60,2	145
M = 23,1	M = 46	M = 35,3	M = 97	M = 54,8	M = 133
± 3,35	± 12,36	± 8,17	± 11,66	± 3,42	± 16,61

Gruppe IV		Gruppe V		Gruppe VI	
45	105	56	105	55	155
55	115	65	155	65	175
55	135	70	155	70	165
58	125	72	145	75	155
58,6	135	72	135	80	155
60	135	75	155	80	165
65	125	75	155	80,4	175
70	135	75	155	82	185
70,3	135	80	145	90	165
71,5	145	80	155	90	165
M = 60.8	M = 129	M = 72	M = 146	M = 76,7	M = 166
± 7,98	± 11,13	± 7,61	± 15,13	± 10,83	± 9,43

Gruppe VII		Gruppe VIII		Gruppe IX	
41,2	135	65	185	70	185
47	145	70	185	75	205
60	155	75	195	80	185
70	165	75	205	80	195
75	175	80	195	80	215
75	175	85,7	205	82	205
75	175	86,5	215	82,8	205
78	185	90	195	86	205
80	165	90,5	215	90	205
90	185	92	215	91	165
M = 69	M = 166	M = 81	M = 201	M = 82	M = 197
± 14,45	± 15,47	± 8,83	± 11,13	± 6,38	± 14,00

mählich bis Gruppe VIII. Das Bild wird nur durch die beiden Kümmerpflanzen der Gruppe VII etwas getrübt.

Die letzte Periode der Wachstumszeit bis Gruppe IX deutet ein Stagnieren im Wachstum an und somit wohl den Wachstumsabschluß. Ganz allgemein zeigt sich also ein gleichmäßiger Verlauf des Wachstums von Wurzel und Kraut in dem Sinne, daß mit der größeren Tiefenentwicklung der Wurzel das Längenwachstum des Krautes zunimmt. Auch die rasche kräftige Entwicklung der Wurzeln und des Krautes im Jugendstadium des Wachstums, also während des Verlaufs der ersten drei Monate, ist klar zu erkennen.

Für Wurzeltiefgang und Krautgewicht beträgt der Korrelationskoeffizient $+ 0{,}236 \pm 0{,}099$, ist also noch geringer als für Wurzellänge und Krautlänge, so daß weitere Schlüsse daraus nicht zu ziehen sind. Die Erklärung mag darin liegen, daß Wurzeltiefgang nicht gleichbedeutend ist mit Wurzelmasse. Zur weiteren Klärung sind die Pflanzen innerhalb der einzelnen Gruppen gegenübergestellt. (Siehe Tabelle S. 47.)

Beim Krautfrischgewicht findet sich ebenfalls eine Steigerung bis Gruppe VI; von da an tritt eine stete Abwärtsbewegung ein. Es zeigt also diese Kurve eine dauernde Aufwärtsbewegung bis Gruppe VI während der Vegetationsperiode. Gegen Ende des Wachstums nimmt das Gewicht der oberirdischen Teile infolge Blattverlustes immer mehr ab, so daß dadurch die Beziehung zwischen Krautgewicht und Wurzeltiefgang erheblich gestört wird. Der geringe Korrelationskoeffizient von $+ 0{,}236$ ist die Folge davon.

Endlich wurde in bezug auf Wurzel- und Krautgewicht ein Korrelationskoeffizient von $+ 0{,}590 \pm 0{,}068$ errechnet; es ist also zwischen diesen beiden Eigenschaften eher eine schwache wechselseitige Beziehung vorhanden. (S. Tabelle S. 48.)

Das Wurzelfrischgewicht zeigt einen etwas unruhigen Verlauf, der vielleicht darin mit begründet sein dürfte, daß eine restlose Erfassung der Wurzeln bei unserer Arbeit nicht möglich war. Trotz dieser selbst bei peinlichster Sorgfalt der Arbeitsausführung nicht zu vermeidenden Fehlerquelle zeigt auch das Frischgewicht die charakteristische rasche Steigerung bis Gruppe III und zwar in ganz rapider Aufwärtsbewegung. Nachdem es etwas gefallen ist, steigt es wieder bis Gruppe IV und erreicht hier das Höchst-

Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III	
Größter Wurzeltiefgang	Krautgewicht (frisch)	Größter Wurzeltiefgang	Krautgewicht (frisch)	Größter Wurzeltiefgang	Krautgewicht (frisch)
25	36,84	85	138,65	105	226,09
25	41,32	115	145,28	105	304,38
45	46,04	95	161,87	145	339,56
45	51,82	115	184,59	135	341,12
35	66,34	95	193,46	145	355,08
45	83,26	85	236,06	145	355,96
55	88,41	85	271,34	115	356,14
45	91,21	105	273,53	145	366,18
55	101,52	85	316,94	145	370,52
65	116,23	105	403,21	145	450,35
M. = 46 ± 12,36	M. = 72,29 ± 26,19	M. = 97 ± 11,66	M. = 232,49 ± 66,85	M. = 133 ± 16,61	M. = 346,54 ± 53,24
Gruppe IV		Gruppe V		Gruppe VI	
105	226,25	105	172,31	155	223,47
135	301,09	155	287,79	175	314,06
135	307,67	146	344,67	165	317,16
125	315,41	155	347,51	185	335,84
125	316,48	155	447,46	165	348,49
135	367,82	155	450,82	155	370,68
115	415,56	155	474,46	175	396,41
135	431,84	155	488,79	155	547,06
145	441,06	135	536,59	165	658,75
135	825,16	145	617,68	165	704,58
M. = 129 ± 11,13	M. = 394,83 ± 157,11	M. = 146 ± 15,13	M. = 417,31 ± 121,20	M. = 166 ± 9,43	M. = 424,65 ± 147,08
Gruppe VII		Gruppe VIII		Gruppe IX	
135	158,17	205	237,85	205	212,03
145	204,29	195	238,47	205	218,78
165	233,36	215	238,74	195	235,28
155	282,96	215	253,39	215	247,58
165	306,74	195	289,64	165	267,27
175	346,59	205	289,36	185	269,12
175	358,65	215	310,64	205	258,11
175	397,81	185	311,05	185	280,71
185	404,09	185	332,89	205	332,39
185	457,37	195	395,29	205	387,26
M. = 166 ± 9,43	M. = 315,04 ± 78,25	M. = 201 ± 11,13	M. = 289,73 ± 36,21	M. = 197 ± 14,00	M. = 270,85 ± 50,51

Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III	
Wurzelgewicht	Krautgewicht	Wurzelgewicht	Krautgewicht	Wurzelgewicht	Krautgewicht
18,21	36,84	26,31	138,55	43,89	226,09
24,16	41,32	33,68	145,28	69,85	304,38
20,04	46,04	27,04	161,87	63,81	339,56
24,83	51,82	24,96	184,59	60,14	341,12
22,13	66,34	43,81	193,46	59,74	355,08
21,92	83,26	32,13	236,06	47,72	355,96
18,92	88,41	24,02	271,34	44,94	356,14
25,46	91,21	37,65	273,53	59,86	366,18
22,71	101,52	29,52	316,94	63,26	370,52
24,02	116,23	54,23	403,21	88,87	450,35
M. = 22,24 ± 2,59	M. = 72,29 ± 26,19	M. = 33,29 ± 9,14	M. = 232,49 ± 66,85	M. = 60,22 ± 12,61	M. = 346,54 ± 53,24
Gruppe IV		Gruppe V		Gruppe VI	
30,98	226,25	12,86	172,31	25,16	223.47
36,42	301,09	48,85	287,79	39,69	314,16
47,86	307,67	53,27	344,67	83,38	335,84
53,81	315,41	60,22	347,51	69,65	348,49
42,42	316,48	55,24	447,46	77,14	370,68
57,56	367,82	69,18	450,82	48,81	396,41
49,67	415,56	79,11	474,46	47,69	547,06
52,76	431,84	64,38	488,79	94,92	517,16
68,21	441,06	66,76	536,59	94,82	658,75
78,49	825,16	100,91	617,68	119,56	704,58
M. = 51,77 ± 13,41	M. = 394,83 ± 157,11	M. = 61,11 ± 21,42	M. = 417,31 ± 121,20	M. = 70,11 ± 27,91	M. = 424,65 ± 147,08
Gruppe VII		Gruppe VIII		Gruppe IX	
9,17	158,17	39,68	237,85	51,81	212,03
19,94	204,29	50,84	238,74	42,47	218,78
63,46	233,76	46,52	238,47	34,46	235,28
70,26	282,96	54,59	253,39	48,38	247,58
54,36	306,74	38,64	289,36	27,98	258,11
72,29	346,59	46,83	289,64	35,41	267,27
48,65	358,65	40,15	310,64	42,99	268,12
87,68	397,81	26,09	311,05	44,51	280,71
60,82	404,09	49,63	332,89	39,78	332,39
102,84	457,37	74,29	395,29	44,59	387,26
M. = 58,95 ± 26,84	M. = 315,04 ± 78,25	M. = 46,73 ± 11,96	M. = 289,73 ± 36,21	M. = 41,24 ± 6,68	M. = 270,85 ± 50,51

gewicht. Es entspricht also eine Steigerung im Gewichte des Krautes einer solchen im Wurzelgewichte, ebenso fallen beide von Gruppe VI an entsprechend.

Daraus ergibt sich, daß Kartoffelpflanzen mit starker Krautentwicklung im allgemeinen auf ein starkes Wurzelvermögen schliessen lassen, ohne daß sich daraus die Konsequenz ziehen ließe, daß die dürftige Entwicklung einer Kartoffelpflanze ihre Ursache unbedingt in einem schwachen Wurzelsystem haben müsse.

Die Untersuchungen ergaben, daß die Wurzelmasse 7,65 % des Gewichtes der oberirdischen Teile beträgt. Wir kommen damit dem Ergebnis von Remy[1]) nahe, der 7,3 % fand. Im allgemeinen weist die Literatur sehr widerspruchsvolle Angaben über die Bewurzelungsstärke der Kartoffel auf. So gibt Hosaeus an[2]), „daß die Masse der Wurzeln gegenüber derjenigen der übrigen Teile bei der Kartoffelpflanze eine auffallend geringe ist, da die Gewichtszunahme der Wurzeln der (in Töpfen gezogenen) Exemplare nur $^1/_{44}$ des Gewichtes der ganzen Pflanze erreichte, während bei fast allen übrigen Gewächsen die Wurzeln wenigstens $^1/_{10}$ des Totalgewichtes der Pflanzen lieferten". Zu ganz enorm hohen Werten kam Schulze-Breslau[3]), der an Wurzeln 44,8 % der oberirdischen Pflanzenmasse fand. Die auffallend große Verschiedenheit der Ergebnisse dürfte ihre Erklärung darin finden, daß namentlich bei der Kartoffel Wurzelverbreitung und -tiefgang sehr stark durch Sorte, Bodenbeschaffenheit und Größe der mechanischen Wurzelverbreitungshindernisse beeinflußt werden; denn es lassen die Zellenversuche von Schulze-Breslau wie unsere Untersuchungen im Freiland erkennen, „daß unter günstigen Bedingungen (Wurmröhren im Untergrund, Anm. des Verfassers) die Kartoffelwurzeln eine sehr bedeutende Tiefe erreichen."[4]) Bei den Kasten- und Gefäßversuchen konnten wir die Gewichte der Wurzeln und des Krautes nicht in Beziehung setzen, da letzteres bereits abgestorben war, als nach Fertigstellung der Arbeit an den Freilandpflanzen die Bearbeitung der Kasten- und Gefäßpflanzen begann.

Die besprochenen Teile der Kartoffelpflanze zeigen also in

---

[1]) Remy, 104, S. 14.
[2]) Hosaeus, 42, S. 692.
[3]) Schulze-Breslau, 122.
[4]) Remy, 104, S. 14.

der Zeit vom Tage der Aussaat, dem 15. 5. bis Anfang August, d. h. in der Periode der Jugendentwicklung, eine gewaltige rasche Vegetation. Dies erklärt es, „daß das Nährstoffbedürfnis der Kartoffel in der ersten Jugendzeit sehr bedeutend ist". Es wird also durch unsere anders gearteten Untersuchen der Verlauf der Kurven bestätigt, die Hecke für die Kartoffel auf Grund der Untersuchung der Nährstoffaufnahme gefunden hat; auch diese zeigen ein ganz allmähliches Ansteigen bis gegen Ende Juni und dann ein plötzlich gewaltiges Emporschnellen bis Ende August[1]).

Folgende Übersicht möge zeigen, wie Gesamtlänge und Gesamtgewicht des Wurzeln sich im Laufe der Entwicklung verhalten:

Gruppe	Gesamtlänge der Hauptwurzeln (cm)	Gesamtgewicht der Wurzeln in g	Verhältnis
I . .	3105	224,40	= 100 : 100
II . .	12990	332,90	= 418 : 148
III . .	31275	602,20	= 1007 : 268
IV . .	34695	517,70	= 1117 : 230
V . .	40140	611,10	= 1292 : 272
VI . .	47125	701,10	= 1517 : 312
VII . .	55615	589,50	= 1791 : 262
VIII . .	62625	467,30	= 2016 : 208
IX . .	62815	412,48	= 2023 : 183

Die Zahlen zeigen, daß die Länge der Hauptwurzeln während der gesamten Vegetationsperiode zunimmt; das Wurzelgewicht dagegen steigt sehr rasch bis zu Gruppe III an, also bis zum 1. 8., um von da bis zu Gruppe VI, 28. 8. sich mit gewissen Schwankungen auf gleicher Höhe zu halten. Gegen Ende der Vegetation geht das Wurzelgewicht schließlich wieder zurück, während die Wurzellänge auch dann noch weiter steigt. Es hat sich nach dieser Aufstellung die Gesamtlänge der Hauptwurzeln bis Gruppe VI, bei der das Gesamtwurzelgewicht den höchsten Stand erreicht, um das Fünfzehnfache vermehrt. Am Ende der Vegetationszeit erreicht die Gesamtlänge der Hauptwurzeln das 20fache der Anfangsgruppe. Eine derartige Steigerung hat das Wurzelgewicht nicht im entferntesten aufzuweisen; es beträgt bei Gruppe VI, seinem höchsten Stand, das 3fache der Gruppe I. Bei Gruppe IX

[1]) Hecke, 34, S. 54.

ist das Gesamtgewicht der Wurzeln auf das ca. $1^1/_2$fache von Gruppe I zurückgegangen.

Diese Gegenüberstellung sagt uns aufs neue, daß die Kartoffel bezüglich der Länge ihres Wurzelsystems bisher unterschätzt wurde, daß sie niemals zu den Flachwurzlern gezählt werden darf.

Unsere Untersuchungen führen zu anderen Ergebnissen wie die Kläseners, der fand, „daß mit fortschreitender Entwicklung des Wurzelsystems auch eine relativ gleichmäßige Gewichtszunahme festzustellen ist“ [1]). Es verhalten sich z. B. bei ihm:

Gruppe: Up to date:
Gesamtwurzellängen: 4 686,5 : 12 265,0 : 19 073,5 = 100 : 261 : 408 [2])
Gesamtwurzelgewicht: 196,54 : 273,36 : 340,98 = 100 : 149 : 173
Gruppe: Göttinger Industrie:
Gesamtwurzellängen: 16 788,0 : 16 273,5 : 33 261,0 = 100 : 108,2 : 198 [3])
Gesamtwurzelgewicht: 372,64 : 341,45 : 507,75 = 100 : 104,1 : 155

Die Unterschiede dürften dadurch begründet sein, daß Kläsener seine letzte Gruppe 14 Tage eher dem Boden entnahm; es dürften also diese Pflanzen noch nicht die volle Reife erlangt haben.

Demgegenüber soll folgende Tabelle eine Zusammenstellung der Frisch- und Trockengewichte der Hauptwurzeln geben. Letzteres wurde dadurch bestimmt, daß die Wurzeln im Trockenschrank 5 Stunden einer Temperatur von 105° ausgesetzt wurden.

A. Feldversuche:

Gruppe:	Gesamtfrisch-gewicht der Hauptwurzeln in g	Gesamttrocken-gewicht der Hauptwurzeln in g	Verlust an H_2O	Durchschnittl. Gehalt an H_2O %
I	224,40	16,20	208,20	92,78
II	332,90	29,90	203,00	91,01
III	602,20	62,50	539,70	89,62
IV	517,70	57,40	460,30	88,91
V	611,10	69,90	541,20	88,56
VI	701,10	82,20	618,90	88,27
VII	589,50	70,60	518,90	88,02
VIII	467,30	59,00	408,30	87,37
IX	412,50	48,60	363,90	88,21
Summe:	4458,70	496,30	3962,40	802,75
Durchschn.	445,90	49,60	396,20	80,28

[1]) Kläsener, 46, S. 27.
[2]) Ders., 46, S. 28.
[3]) Ders., 46, S. 29.

B. Kastenversuche:

a) Sandkasten:	587,11	105,47	481,64	82,03
b) Lehmkästen:	296,48	56,60	239,88	80,91
Durchschn.:	441,79	81,03	360,76	81,47

C. Gefäßversuche:

a) Sandgefäße:	60,51	8,41	52,10	86,10
b) lockere Erde:	91,18	16,42	74,76	88,99
c) festgestampf. Erde:	24,59	2,94	21,65	88,04
Durchschn.:	58,76	9,25	49,50	85,37

Die Aufstellung läßt deutlich erkennen, daß der Wassergehalt der Wurzeln in der Zeit der Jugendentwicklung am größten ist; mit zunehmendem Alter beobachtet man einen dauernden, wenn auch sehr geringen Rückgang.

Vergleichende Untersuchungen der Frisch- und Trockengewichte von oberirdischen Teilen und Wurzeln ergaben folgende Resultate:

Gruppe	Frischgewichte			Trockengewichte		
	Oberird. Teile	Wurzeln	Verhältnis	Oberird. Teile	Wurzeln	Verhältnis
I	772,9	224,4	100 : 30,76	77,55	16,17	100 : 20,90
II	2324,9	332,9	100 : 14,31	220,55	29,93	100 : 13,54
III	3465,4	602,2	100 : 17,37	459,63	62,49	100 : 13,59
IV	3948,3	517,7	100 : 13,11	595,05	57,40	100 : 9,64
V	4173,1	611,1	100 : 14,64	661,21	69,98	100 : 10,57
VI	4246,5	701,1	100 : 16,51	733,32	82,20	100 : 11,20
VII	3150,4	589,5	100 : 18,71	484,27	70,63	100 : 14,57
VIII	2897,2	467,3	100 : 16,12	452,03	59,04	100 : 13,05
IX	2708,5	412,4	100 : 15,22	312,30	41,57	100 : 13,32

Es zeigt sich dabei, daß das Kraut-Wurzel-Verhältnis in den einzelnen Gruppen nicht wesentlich schwankt, während einzelne Pflanzen recht starke Abweichungen aufwiesen.

Vielleicht sind derartige Unterschiede durch Ernährungs- und Standortsverhältnisse der einzelnen Pflanzen begründet; denn eine starke Nährstoffgabe, an bestimmten Stellen in den Boden

gebracht, veranlaßt die Pflanzen dieser bevorzugten Stellen zu einer besonders starken Krautentwicklung und zu einer üppigen Ausgestaltung des Wurzelwerkes,[1]) wie andererseits „mangelhafter Nährstoffvorrat im Ackerboden im allgemeinen die quantitative Ausbildung der oberirdischen Organe und der Wurzeln in ihrer absoluten Größe herabsetzt“[1]). Dabei ist die Wurzelentwicklung nach den Untersuchungen von v. Seelhorst verhältnis mäßig umso geringer, je mehr die Nährstoffaufnahme erleichtert ist, so daß also das Verhältnis von Wurzelgewicht und Krautgewicht dadurch mehr oder weniger stark beeinflußt wird.

Eine Betrachtung der prozentualen Zunahme des Krautes und der Wurzeln sagt, daß die Menge des Krauttrockengewichts bei Gruppe VI fast das 10fache der Gruppe I beträgt; das Trockengewicht der Wurzeln dagegen hat nur um das 5fache zugenommen. Während dann das Krautgewicht von Gruppe VI—IX um fast 60 % abnimmt, fällt das Wurzelgewicht im gleichen Zeitraum um 10 % weniger. Setzt man das Trockengewicht des Krautes jedesmal = 100, so zeigt das der Wurzel eine relativ geringere Zunahme bis Gruppe IV, dann steigt die Zunahme bis Gruppe IX von 10,57—13,32. Der Rückgang des Wurzeltrockengewichtes ist also geringer als der des Gewichtes der oberirdischen Teile.

Von großem Interesse ist ferner die Feststellung und Vergleichung der Knollengewichte im freien Felde, in den Kästen und den Blechzylindern. Die Ernte erfolgte in allen Fällen in der zweiten Hälfte des Oktober:

	Pflanzenzahl	Standweite (qm)	Mittel g	Stück A = 100
I. freies Feld:				
a) Feldstück A	10	2500	1809 ± 422	100
	10	2500	1864 ± 381	
b) „ B	10	2500	1642 ± 388	89
	10	2500	1689 ± 387	
II. Kastenversuche:				
a) Sandkästen	14	10 000	2992 ± 514	162
b) Lehmkästen	6	10 000	3755 ± 893	204
III. Gefäßversuche:				
a) Sandgefäße	4	1200	266 ± 147	14
b) lockere Erde	4	1200	819 ± 84	44
c) festgestampfte Erde .	4	1200	228 ± 81	12

[1]) Schindler, 119, S. 180 f.
[2]) Burmester 7, S. 151.

Infolge des engen Standraumes bleiben also die Erträge im freien Felde weit hinter denen in den Kästen zurück; sie betragen fast nur die Hälfte. Es wurden z. B. von Kasten 9, Lehm, fast 5,2 kg, von Kasten 4, Lehm, 4,5 kg, von Kasten 8, Sand, 4,1 kg Kartoffeln geerntet, während die Höchstmenge im freien Felde 2,5 kg betrug.

In Kasten 9 war Anfang Mai derselbe Versuchsfeldlehm, den man zu den Versuchen in den Gefäßen verwandte, eingefüllt worden. Hier dürfte die ungewöhnlich hohe Ernte auf der gewaltigen Wurzelentwicklung (71 Hauptwurzeln, größter Tiefgang 131 cm, Wurzelfrischgewicht 68,78 g) und der üppigen Krautentwicklung (5 stark verzweigte Hauptstengel von 80—90 cm Länge) wie auf der bequemen Durchdringung des guten lockeren Bodens beruhen. Die anderen Kästen liefern aufs neue den Beweis, daß humifizierter Sandboden den idealen Kartoffelboden bildet;[1])[2]) es muß der hohe Ertrag umsomehr Wunder nehmen, als die Wurzeln, wie S. 103 dargelegt wurde, sich nur auf die oberste, ca. 35—45 cm mächtige Sandschicht beschränkten, diese allerdings nach allen Richtungen vollständig durchwühlten. Ein Vergleich zwischen der Zahl der Hauptwurzeln der Kasten- und Zylinderpflanzen der Gruppe IX, die ungefähr zu gleicher Zeit dem Boden entnommen wurden, läßt die Unterschiede noch deutlicher werden:

	Standweite qcm	Durchschnittliche Zahl der Hauptwurzeln je Pflanze	Durchschnittliches Wurzelfrischgewicht je Pflanze
Gruppe IX	2500	41,3	41,24
Kästen:			
a) Sand	10000	45,0	41,93
b) Lehm	10000	67,83	49,41
Zylinder:			
a) Sand	1200	21,50	15,12
b) lockerer Lehm	1200	35,00	22,79
c) festgestampfter Lehm . . .	1200	7,75	6,12

In allen Kästen fand sich eine für die Ernte bequeme büschelförmige Anordnung der Knollen dicht unter dem Stocke,

[1]) Meyer, 74, S. 162.
[2]) Remy, 104, S. 55 f.

„die man häufig nur als eine besondere Eigenschaft damit begünstigter Sorten (Angelika, Belladonna, Reichskanzler usw.) anspricht und die auch mehr oder weniger durch Einwirkung einer unbewußt zur richtigen Zeit angewandten Bodenbearbeitung gefördert wird".[1])

Bei den Gefäßversuchen fällt auf, daß die mit Leinesand gefüllten bedeutend geringere Erträge erbrachten, als die mit lockerer Erde beschickten; die Ursache dürfte wohl in dem geringen Gehalt des Sandbodens an Nährstoffen zu suchen sein (s. Analyse nach Neubauer S. 7). Drangen doch auch bei 2 Sandgefäßen die Wurzeln, wahrscheinlich auf der Suche nach Nährstoffen und Wasser, in den gewachsenen Boden ein.

Die höchste Wurzelzahl haben die Zylinder mit lockerem Lehm. Es erinnern diese Gefäße an Kasten 9, Lehm, dessen locker eingefüllter Boden ebenfalls eine üppige Wurzel- und Krautentwicklung und eine die anderen Kästen weit übertreffende Ernte verursachte.

Natürlich darf bei den Gefäßversuchen nicht übersehen werden, daß den Wurzeln der darin gezogenen Pflanzen nur ca. $^1/_{10}$ cbm Erde zur Verfügung stand und daß das verhältnismäßig enge Gefäß die Seitenausbreitung der Wurzeln gewaltig hinderte, während die Kästen 1,35 cbm Bodenvolumen fassen.

Zur Herausnahme der obersten Wurzeln im Felde wurde ein Eisenzylinder von 50 cm Länge und 40 cm Durchmesser gewählt. Dadurch erhielten wir von jeder Pflanze in diesem ausgehobenen Erdzylinder ein bestimmtes Wurzelvolumen. Da dieses der obersten Erdschicht, also der der Bearbeitung und Düngung unterworfenen Ackerkrume entstammt, können die einzelnen Wurzelgewichte aus den verschiedenen Zylindern über das Verhältnis des Wurzelgewichtes in der Oberschicht der Erde zu dem im Untergrunde, also zu dem ausgegrabenen, aufklären.

Nachfolgende Aufstellung zeigt die Gesamtwurzelgewichte der Gruppen II—IX. Gruppe I wurde ausgelassen, weil das Mittel ihrer Wurzeln in einer Tiefe von 0—10 cm lag und weil diese Gruppe nur 6 Hauptwurzeln aufweist, die über 50—70 cm Tiefgang besaßen, alse nur 2,83 % aller Wurzeln dieser Gruppe.

---

[1]) Puchner, 99, S. 2.

Gruppe	Gesamtgewicht der Wurzeln	Ausgespülte Wurzeln	Prozent	Ausgegrabene Wurzeln	Prozent	Verhältnis
II	332,85	257,00	77,24	75,85	22,76	100 : 29
III	602,18	465,43	77,29	136,75	22,71	100 : 29
IV	518,18	366,23	70,67	151,95	29,31	100 : 41
V	611,78	450,35	73,61	161,43	26,39	100 : 35
VI	701,12	465,72	66,48	235,40	33,52	100 : 50
VII	589,47	356,58	60,49	232,89	39,51	100 : 65
VIII.	467.26	281,33	60,20	185,93	39,80	100 : 66
IX	412,38	241,15	58,47	171,23	41,53	100 : 70

Es zeigt sich, daß bei Gruppe II 77,24 % aller Wurzeln aus dem Zylinder ausgespült wurden; diese Zahl fällt ziemlich regelmäßig, bis sie bei Gruppe IX 58,47 % erreicht. Ihr gegenüber steigt die Prozentzahl der ausgegrabenen Wurzeln von 22,76 % regelmäßig auf 41,53 %. Beträgt das Verhältnis der ausgespülten zu den ausgegrabenen Wurzeln bei Gruppe II ca. 100 : 29, also ungefähr $^1/_3$, so wächst es über Gruppe VI, wo es die Quotienten 100 : 50 enthält, bei Gruppe IX auf 100 : 71 = ca. $^3/_4$. Es erhöht sich also die Zahl der ausgegrabenen Wurzeln ständig, während die der ausgespülten zurückgeht, d. h. im Laufe der Vegetationsperiode hat die Tiefenentwicklung und damit das Gewicht der in die tieferen Bodenschichten vordringenden Wurzeln bedeutend zugenommen, zum Teil mehr als das doppelte erreicht.

Diese Ergebnisse stimmen also mit denen von Thiel überein, „daß sich die Hauptmasse der Wurzeln in dem oberen, durch die Kultur gelockerten Teile des Bodens befindet, d. h. nicht nur die Hauptmasse der Wurzeln überhaupt, sondern auch der für die Ernährung tätigen jungen Wurzeln, daß daher auch aus dieser Bodenschicht jene Pflanzen vorzugsweise ihre Nahrung, soweit sie diese überhaupt aus dem Boden schöpfen, entnehmen.“ [1]) Auch Hellriegel kam bei seinen umfangreichen Versuchen zu dem Ergebnis, „daß sämtliche Pflanzenarten ohne Ausnahme die Hauptmasse ihres Wurzelnetzes in der Ackerkrume, d. h. in der lockersten und nährstoffreichsten Bodenschicht, entwickelt hatten.“ [2])

[1]) Thiel, 139.

[2]) Hellriegel, 37, S. 261.

V. Zusammenfassung des Ergebnisses.

Durch die vorstehenden Untersuchungen sollte dargelegt werden, in welch bedeutende Tiefen die Wurzeln der Industriekartoffel hinabsteigen. Die Versuchsanstellung nahm die Ausgrabungen der Wurzeln im freien Felde vor, weil nur der gewachsene Boden ein richtiges Bild des Wurzelverlaufs ergeben kann. Bezüglich der Wurmröhren wurde ihre große Bedeutung für das Tiefenwachstum der Wurzeln festgestellt. Ferner sollten die bestehenden korrelativen Verhältnisse zwischen Wurzeltiefgang und Krauthöhe, Wurzeltiefgang und Krautgewicht und Wurzelgewicht und Krautgewicht festgestellt werden, ebenso diejenigen zwischen Wurzelentwicklung und Knollenerzeugung. Erfordert doch gerade dieser letzte Punkt Aufmerksamkeit. Es muß von größter Wichtigkeit sein, den Einfluß der Wurzelbildung auf die Knolle kennen zu lernen, um die Anbaumaßnahmen danach einstellen zu können; „denn starkes Wurzelgeflecht der Kartoffelpflanze wirkt nicht nur auf die Entwicklung der oberirdischen Stengelteile, sondern auch auf die Ausbildung der Knollen unter der Erde, insofern, als der durch vermehrte Wurzelbildung gesteigerte Saftdruck nach oben, der in vermehrtem Maße Wasser durch den Holzteil der Gefäßbündel von Mutterknolle und Stengel aufwärts schickt, auch in gleichem Maße Flüssigkeit für den entgegengesetzt gerichteten Saftstrom liefert, der aus den Blättern die abzulagernden Reservestoffe durch den Bastteil der Gefäßbündel nach abwärts in die neugebildeten Knollen sendet.“[1])

Bei einem vergleichenden Anbau von ca. 250 Kartoffelsorten auf dem Göttinger Versuchsfeld konnten ganz gewaltige Unterschiede in bezug auf Üppigkeit der Krautentwicklung wie im Knollenertrag beobachtet werden. Gelingt es, die Wurzelsysteme dieser einzelnen Sorten zu charakterisieren, so dürfte die Möglichkeit einer Beeinflussung der Knollenbildung durch zweckentsprechende Bearbeitung und Düngung gegeben sein. Man würde dann auf dem besten Weg zu einer Nomenklatur der Wurzelsysteme aller Kartoffelsorten sein, indem in den Sortenlisten zu verzeichnen wäre, welchen Charakter das Wurzelsystem jeder einzelnen Sorte trägt, damit aus dieser Feststellung Schlüsse auf die Rentabilität ihrer Erträge gezogen werden können.

---

[1]) Puchner, 100, S. 29.

Die Anbauversuche in den Blechzylindern lassen deutlich erkennen, daß Wurzelentwicklung und Knollenertrag sowohl auf sterilem Sand wie im festen harten Boden leiden. Besonders die Versuche mit eingestampftem Boden zeigen wirkungsvoll, wie der Ertrag durch das kümmerliche Wurzelsystem so stark beeinflußt wird, daß die Ernte ganz gering ausfällt.

Diese Tatsache bestätigt für die landwirtschaftliche Praxis die Wichtigkeit einer intensiven Bodenbearbeitung.

Literatur.

1. De Bary, A., Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. Handb. d. physiol. Bot. v. W. Hofmeister. Band 3, Leipzig 1877.
2. Beckmann, Untersuchungen über den Einfluß der Pflanzenwurzeln auf die Struktur des Bodens. Inaug.-Diss. München 1915.

2a. Birner und Lukanus, Wasserkulturversuche mit Hafer. Landw. Versuchs-Stationen Bd. 8, 1866.

3. Blanck, Zur Wurzelentwicklung der Gemüsepflanzen. Deutsche landw. Presse 1918, Nr. 73.
4. Bloch, E., Sur les modifications produites dans la structure des racines et des tiges par une compression interieure. C. R. 1914, Nr. 23.
5. Bloch, O., Untersuchungen über die Verzweigung fleischiger Phanerogamenwurzeln. Inaug.-Diss., Berlin 1880.
6. Blomeyer, A., Die Kultur der landwirtschaftl. Nutzpflanzen. Leipzig 1891.
7. Burmester, Einfluß des Bodenvolumens und des Nährstoffvorrates auf die relative Wurzelentwicklung. . . . Journ. f. Landw. 1913.
8. Büsgen, Studien über das Wurzelsystem der dikot. Holzpflanzen. Flora 1905, Bd. 95.
9. Cannon, V. A.. The root habits of Des. Plants. Carnegie Inst. of Voshing fon Publik. Nr. 131.
10. Ders., Wurzelentwicklung bei Wüsten- und Steppenpflanzen. Pop. Science monthly. Juli 1912, 90.
11. Cantoni, Biedermann 1876.
12. Carola, Untersuchungen über die Entwicklung der Wurzeln. Biedermann 1892.
13. Constanin, J., Influence du milieu sur la structure anatomique de la racine, B. S. B. france, t. 30, 1883.
14. Ders., Recherches sur l'influence qu' exerce le milieu sur la structure des racines. Ann. sc. nat. Ser. 7, Bot. tom. 1, 1885.
15. Cunnigham, J. G., Roots and roots-stocks of weeds. Iowa Geological Surey, Bulletin Nr. 4, 1913.

16. Darwin, C. H., Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Regenwürmer. 1881.
17. Dehèrain, P. P., Traitè de chimie agricole. Paris 1902.
18. Detmer, W., Über den Einfluß äußerer Verhältnisse auf die Wurzelentwicklung. Landw. Versuchs-Station Bd. 15, 1872.
19. Djemil, Untersuchungen über den Einfluß der Regenwürmer. Inaug.-Diss. Halle 1896.
19 a. Duhamel, Physique des arbres. I. part., 1758.
19 b. Fittbogen, Landw. Versuchs-Station Bd. 6, 1864.
20. Fraas, Das Wurzelleben der Kulturpflanzen und die Ertragssteigerung. Berlin 1872.
21. Freidenfelt, Studien über die Wurzeln krautiger Pflanzen. Flora Bd. 91, 1902.
22. Fruwirth, C., Über die Ausbildung des Wurzelsystems der Hülsenfrüchte. Forsch. Agr, Bd. 18, 1895.
23. Garding, Forsch. Agr. Bd. 15, 1892.
24. Girard, E., Recherches sur le developpement progressif de la betterave a sucre. (Methodik der Wurzelkulturen) Ann. de l'Institut national agronomique, t. X. 1884—85.
25. Ders., Forschungen über Kartoffeln, 1893.
26. Gleisberg, Regenwurmprobleme. Angewandte Botanik 1922, Heft 4.
27. Goebel, K., Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Phanerogamen. Schenk, Handb. d. Bot. Breslau 1883, Bd. 3.
28. Goethe, R., Einige Beobachtungen über Regenwürmer usw. Jahrb. des Vereins f. Naturkunde in Nassau, Jahrg. 48, 1895.
29. Griset, H. E., Notes on the modifications of roots. Sc. G., vol. 27, 1895.
30. Haberlandt, G., Österr. landw. Wochenschrift 1875, Nr. 495.
31. Ders., Biedermann 1876.
32. Ders., Physiologische Pflanzenanatomie. Leipzig 1918.
33. Hales, Statik der Gewächse. Halle 1748.
34. Hecke, Untersuchungen über den Verlauf der Nährstoffaufnahme der Kartoffelpflanze. Inaug.-Diss. Göttingen 1895.
35. Heinrich, Landw. Annalen des Mecklenb. patriot. Vereins. Rostock 1876, Nr. 7.
36. Ders., Grundlagen der Beurteilung der Ackerkrume 1882.
37. Hellriegel, Beiträge zu den naturwissenschaftl. Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig 1887.
38. Hensen, Über die Fruchtbarbeit des Erdbodens usw. Landw. Jahrb. v. Thiel 1882.
39. Ders., Über die Wurzeln in den tieferen Bodenschichten. Jahrbuch der D. L.-G. 1892.
40. Hevmons, Der Einfluß der Regenwürmer auf Beschaffenheit und Ertragsfähigkeit des Bodens. Zeitschr. f. Pflanzenernährung 1923.
41. Holdefleiss, Referat über Djemil „Untersuchungen über den Einfluß der Regenwürmer". Kühn-Ber. 13, Halle.
42. Hosaeus, Jahresbericht für Agrikulturchemie 1870/71.
43. Jost, Pflanzenphysiologie. Jena 1924.
44. Kassnitz, Untersuchungen über den Einfluß der Regenwürmer auf Boden und Pflanze. Bot. Arch. Bd. 1, 1922.

44 a. Katschinsky, Über die Entwickelung des Wurzelsystems auf den Böden von Podsoltypus, Teil I. Moskau 1925.
45. Keup, Ernährung und Lebensweise der Regenwürmer. Mitteilung der D. L.-G. 1913.
46. Klasener, Wurzelentwicklung verschiedener Kartoffelsorten. Inaug.-Diss. Göttingen 1923.
47. v. Knieriem, W., Notizen zum Pflanzenbau. Landw. Kalender f. Liv-, Est- und Kurland. Riga 1894.
48. Knop, Über die Ernährung der Pflanzen durch wässrige Lösungen bei Ausschluß des Bodens. Landw. Versuchs-Station Bd. 2, 1860.
49. Ders., Ein Vegetationsversuch. Landw. Versuchs-Station Bd. 1, 1859.
50. Ders., Quantitative Arbeiten über den Ernährungsprozeß der Pflanzen. Landw. Versuchs-Station Bd. 3, 1861, Bd. 5, 1863.
51. Knop und Wolf, Über Wasser- und Landwurzeln. Landw. Versuchs-Station Bd. 7, 1865.
52. Kossowitzsch, Die Schwarzerde (Tschernosiom). Intern. Mitteilungen für Bodenkunde 1912, Bd. 1, Heft 3/4.
53. Ders., Entwicklung der Wurzeln in Abhängigkeit von der Bodentemperatur (1. Wachstumsperiode). Russ. Journ. f. experiment. Landwirtschaft 1903.
54. Kraus, Abhandlung in Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Untersuchungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung. 1. Forsch. Agr. Bd. 11, 1888.
55. Ders., 2. Ebenda Bd. 15, 1892.
56. Ders., 3. Ebende Bd. 17, 1894.
57. Ders., 4. Ebenda Bd. 18, 1895.
58. Ders., 5. Ebenda Bd. 19, 1896.
59. Kühn, Über die Untergrunddüngung mit bes. Berücksichtigung für den Zuckerrübenbau. Kühn-Ber. 11, 1894.
60. Kühn und Rautenberg, Vegetationsversuche in Lösungen. Landw. Versuchs-Station Bd. 6, 1864.
61. Kutaschew, Über die Bedeutung der Wurzeln im Leben der Pflanzen. Russische landw. Ztg. 1902.
62. Lampbrecht, Einfluß der Bewurzelung der Kulturpflanzen auf die Fruchtfolge. Landw. Annalen des Meckl. patriot. Vereins. Rostock 1876.
62 a. v. Lengerke, Die Bedeutung der Regenwürmer. Illustr. Landw. Ztg. 1920, Nr. 103/104.
63. Lesage, Contributions a la physiologie de la racine. C. R. Paris 1891, t. 112, Nr. 2.
64. Ders., Sur la differenciation du liber dans la racine. C. R. Paris 1891, t. 112, Nr. 8.
65. Leydhecker, Über die physiologische Bedeutung des Chlors in der Buchweizenpflanze. Landw. Versuchs-Station Bd. 8, 1866.
66. Liebig, v. J., Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Die Naturgesetze des Feldbaues, 1862.
66 a. Lindley, Theorie der Gärtnerei, 1892.
67. Lohrer, Vergleichende Anatomie der Wurzeln. Inaug.-Diss. Marburg 1886, auch in Wigands Bot. Heften, Heft 2.

68. Lokot, Zur Frage „Über das Studium von Wurzelsystemen der Kulturpflanzen.“ Russische Zeitschr. „Agronom“, 1902, Nr. 46.
69. Maschhaupt, J. G., De beworteling onzer Culturgewassen, Overdrukt nit de „Versalgen van Land onder der Rykslanbouw-proefstations“, Nr. 16, 'S Gravenhage 1915.
70. Mer, E., De l'influence des milieux sur la structure des racines. C. R. Paris, t. 88, 1879.
71. Ders., Des modificat. des struct . . . . . B. S. B. france, t. 28, 1881.
72. Ders., De la constitution et des fonctions des poils radicaux. B. S. B. france, t. 28, 1881.
73. Ders., Nouvelles recherches sur les conditions de developpement des poils radicaux. C. R. Paris 1889, t. 98.
74. Meyer, Hackfruchtbau. Handb. d. ges. Landwirtschaft von Steinbrück. Leipzig 1921.
74 a. Ders., Jahrbuch d. D. L.-G. 1892.
75. Michaelsen, Oligochaeta. Berlin 1900.
76. Mitscherlich, E. A., Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Berlin 1923.
77. Modestow, A. P., Les materiaux pour la connaissance des racines des plantes herbacees. IV Folgen. Annales de l'institut agronomique de Moscou 1915, XXI, 1. 4. mit Index des publications sur le systeme radiculaire.
78. Müller-Thurgau, Über Bedeutung und Wachstum der Wurzeln. Landw. Jahrbücher IV, 1875.
79. Münz und Girard, Wurzelforschungen im natürlichen Boden. Russische Landw. Ztg., 1902, Nr. 11.
80. Nägeli, Wachstum des Stammes und der Wurzeln bei Gefäßpflanzen. Beiträge zur wiss. Botanik, 1868, Heft 1.
81. Nägeli und Leitgeb, Entstehung und Wachstum der Wurzeln. Nägelis Beiträge IV, 1868.
82. Nicolai, Das Wachstum der Wurzeln. Schriften der phys.-ökon. Gesellschaft. Königsberg, Jahrg. 6, 1865.
83. Nobbe, Die Kartoffel als Wasserpflanze. Landw. Versuchs-Station Bd. 6, 1864.
84. Ders., Die Züchtung der Landpflanzen in Wasser betreffend. Ebenda Bd. 7, 1865.
85. Ders., Über das relative Nahrungsbedürfnis der Pflanze. Ebenda Bd. 8, 1866.
86. Ders., Die Pflanzenkultur im Wasser und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Ebenda Bd. XI, 1869.
87. Ders., Der chemische Ackersmann. 1869. Landw. Versuchs-Station Bd. 15, 1872.
88. Ders., Beiträge zur Pflanzenkultur in tropfbar flüssigen Medien. Ebenda Bd. 10, 1868.
89. Nobbe und Siegert, Beiträge zur Pflanzenkultur in wässerigen Nährstofflösungen. Ebenda Bd. 6, 1864.
90. Nowacki, Getreidebau. Berlin 1886.
91. Opitz, K., Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Mitteilung d. Landw. Institutes Breslau, 1904.

92. Orth, Wurzelstudien. Jahrb. d. D. L.-G., 1892.
93. Ders., Wurzelherbarium. Festgabe für die Mitglieder der 9. Wanderversammlung d. D. L.-G., 1894.
94. Pammel, et fogel, The undergrounds orgens of a few verds Proced. Iowa Ac. of Sc. T. 16, 1913.
95. Perseke. Über die Formveränderungen der Wurzeln in Erde und Wasser. Inaug.-Diss., Leipzig 1877.
96. Pfeffer, W., Pflanzenphysiologie. Leipzig 1881.
97. Ders., Druck- und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Leipzig 1893. Abhandlung d. Sächs. Gesellschaft d. Wiss. Bd. 20.
98. v. Pistohlkors, Wurzelkenntnis und Pflanzenproduktion. Bonn 1898.
99. Puchner, Die Bedingungen der Knollenbildung der Kartoffelpflanze. Der Kartoffelbau, 1925.
100. Ders., Kartoffelwurzel und Knollenwachstum. Der Kartoffelbau, 1925, Nr. 2.
101. Ramann, Bodenkunde. Berlin 1911.
102. Ders., Regenwürmer und Kleintiere im Boden. Internat. Mitteilung f. Bodenkunde, 10, 1911, Bd. 1, Heft 2.
103. Reinke, Untersuchungen über Wachstumsgeschichte und Morphologie der Phanerogamen-Wurzel. Hansteins Bot. Abhandlung Bd. 1, 1871.
104. Remy, Kartoffelbau. Berlin 1921.
105. Resa, Über die Periode der Wurzelbildung. Inaug.-Diss., Bonn 1877.
106. Rimbach, Beiträge zur Physiologie der Wurzeln. Ber. d. Bot. Gesellschaft Bd. 17, 1899.
107. v. Rosenberg-Lipinski, Der praktische Ackerbau, 1862, Bd. 2.
108. Rotminstroff, Die Gebiete der Verbreitung der Wurzeln bei einjährigen Kulturpflanzen. Russisches Journ. f. experimentelle Landwirtsch., 1907, Nr. 1, Nr. 5, Nr. 6; 1908, Bd. 11.
109. Ders., Neue Methode der Wurzelauswaschungen. Russische Landw. Ztg. „Ernte“ 1907, Nr. 1/3.
110. v. Rümker, Die Bewurzelung der Kulturgewächse und ihre Beziehungen zur Drainage. Der Kulturtechniker, 1902.
111. Ders., Tagesfragen aus dem modernen Ackerbau. Berlin 1922.
112. Russel, The effect of eartsworms on soil productivenes. Journ. Agric. Sc., vol. III, Part. 4, Cambridge 1910.
113. Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie. Leipzig 1865.
114. Ders., Vorlesungen über Pflanzenphysiologie.
115. Ders., Sitzungsberichte der Wiener Akad., 1858, Bd. 26.
116. Ders., Erziehung von Landpflanzen in Wasser. Landw. Versuchs-Station Bd. 2, 1860.
117. Ders., Über die Hindernisse bei Vegetationsversuchen. Landw. Versuchs-Stationen Bd. 2, 1860.
117 a. Ders., Physiologische Notizen. Flora 1892.
118. Schacht, Beiträge zur Entwicklungsgesch. d. Wurzel. Flora 1853.
119. Schindler, Einfluß der Düngung auf die Wurzelentwicklung. Die Ernährung der Pflanze. 20. Jahrg., Nr. 24.
120. Schubert, Erfahrungen und Beobachtungen über das Wurzelbild . . . ., s. Stöckhardt, Der chemische Ackersmann, 1855, Nr. 4.

121. Schulze, Wurzelatlas, Darstellung natürlicher Wurzelbilder der Halmfrüchte. Berlin 1911.
122. Ders., Studien über die Bewurzelung unserer Kulturpflanzen. Festschrift der Landw. Versuchs-Station Breslau, 1906.
123. Schultz-Lupitz, Zwischenfruchtbau auf leichtem Boden. Arbeiten der D. L.-G. Heft 7, 1895, und Jahrb. d. D. L.-G. Nr. 6, 1896.
124. Schuhmacher, Über das Gewicht der Wurzel verschiedener Kulturpflanzen. Jahresber. f. Agrikulturchemie, 1867.
125. v. Seelhorst, Beobachtungen über die Zahl und den Tiefgang der Wurzeln verschiedener Pflanzen. Journ. f. Landwirtschaft, 1902.
126. Ders., Das Landw. Versuchsfeld der Universität Göttingen.
127. Ders.. Einfluß der Wurmlöcher usw. Journ. f. Landw. 1902.
128. Sewell, Roots and their works. G. Chr. vol. 26, 1886.
129. Sleskin, Einige Experimente über das Wurzelsystem. Russisches Journ. f. Land- und Forstwirtschaft, 1895, Nr. 3.
130. Sokolowsky, J. J., Über das Wurzelsystem verschiedener Kulturpflanzen. Arbeiten des Versuchsfeldes Poltawa, 1908 und 1913.
131. Sprengel, Die Lehre vom Dünger. Leipzig 1839.
132. Stöckhardt, Der chemische Ackersmann. 1855, Nr. 4.
133. Stohmann, Vegetationsversuche in Lösungen. Landw. Versuchs-Stationen Bd. 6, 1864.
134. Stössner. Landw. Jahrbücher 1887, Bd. 16.
135. Strassburger, Lehrbuch der Botanik. Jena 1923.
136. Thatschenko, Über die Rolle des Waldes bei der Bodenbildung. Nachrichten des Russischen Forstinstitutes XVIII, 135.
137. van Tieghem, Ph., Traitè de botanique. Paris 1884, I.
138. Thiel, H., De radicum plantarum quarundarum ab agricolis praecipue cultarum directione et extensione. Dissertatio physiologica. Bonn 1865.
139. Ders., Über die Bewurzelung einiger unserer Kulturpflanzen. Zeitschr. f. d. landw. Vereine d. Großherzogtum Hessen, 1870, Nr. 37 uud 38.
140. Thiel, H., Bewurzelung, H. v. Nathusius, Wandtafeln für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Serie 4, 53 Photographien mit Text, 1875.
141. Ders., Mitteilungen der D. L.-G., 1892, Stück 6.
142. Ders., Landw. Zentralblatt für Deutschland, 1870, Bd. 2.
143. Thiele, Deutschlands landwirtschaftliche Klimatologie. Bonn 1895.
144. Thoms, Die landwirtschaftliche und chemische Versuchs- und Samenkontrollstation Riga, 1882/86, Heft 6.
145. Tornau, Göttinger Hafer, I, II, III, IV. Inaug.-Diss. Güttingen 1911.
146. Trommer, Untersuchungen über den Einfluß der mechanischen Bodenbeschaffenheit auf das Wachstum der Wurzel. Inaug.-Diss. München 1919.
147. Tunker und v. Seelhorst, Der Einfluß, den der Wassergehalt und der Reichtum des Bodens auf die Ausbildung der Wurzeln und der oberirdischen Teile der Haferpflanze ausüben. Journ. f. Landw. 1898.
148. Ude, Regenwürmer aus Mazedonien. Arch. f. Naturgesch. 88. Jahrg., 1922.
149. Vöchting, Über Organbildung im Pflanzenreiche, 1884.
150. Vorobico, Über das Studium des Wurzelsystems der Getreidesorten. Russisches Journ. f. Land- und Forstwirtschaft. St. Petersburg 1916.

151. De Vries, Wachstumsgeschichte der Kartoffel. Landw. Jahrb. Berlin 1878, Bd. 7.
152. Wächter, Grundwasser und Wurzelwachstum. Internat. Zeitschr. f. Wasserversorgung. 4. Jahrg. 1917, Nr. 10/11.
153. Wacker, Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium. Inaug.-Diss., Leipzig 1898.
154. Wagner, Journ. f. Landw. 1870.
155. Weiske und Kellner, Biedermann 1877.
156. Weiske, Jahresbericht für Agrikulturchemie, 13.
157. Werner und Schultz-Lupitz, Jahrbuch der D. L.-G. 1891.
158. Wiegmann und Polstorff, Über die anorganischen Bestandteile der der Pflanze usw. Braunschweig 1842.
159. Wieler, Über die Periodizität in der Wurzelbildung der Pflanzen. Forstwissenschaftl. Zentralbl. Bd. 16, 1894.
160. Ders., Regenwürmer und Bodenbeschaffenheit. Sitzungsber. d. Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens, 1913.
161. Wiesner, Elemente der wissenschaftl. Botanik. Wien 1884, Bd. 2.
162. Wilfahrt, Römer und Wimmer, Über die Nährstoffaufnahme der Pflanzen in verschiedenen Zeiten ihres Wachstums. Landw. Versuchs-Station Bd. 63, 1906.
163. Wolff, Üppige Vegetation in wässerigen Lösungen der Nährstoffe. Ebenda Bd. 8, 1866.
164. Wollny, Standraum der Gewächse. Landw. Kalender von Mentzel und v. Lengerke, 1897.
165. Worthmann, Notizen über Wasserkultur. Botanische Ztg. 1892.
166. Wyssotzky, Die Natur und Kultur der Pflanzen im Veliko-Anatol. Gebiete. Abdruck aus den Arbeiten der Expedition, die von dem Forstdepartement unter Leitung von Prof. Dokutschaew ausgesandt wurde. St. Petersburg 1898 (s. Heymons 40).
167. Ders., Hydrologische und geobiologische Beobachtungen im Veliko-Anatol. Gebiet. Russisches Journ. f. Bodenkunde. St. Petersburg 1899.
168. Ders., Das Steppenilluvium und die Struktur der Steppenböden. Ebenda 1901, Ni. 2, Nr. 3, Nr. 4; 1902, Nr. 2.
169. Ders., Über Waldkulturbedingungen des Rayons des Samaraschen-Apanagen-Bezirkes. St. Petersburg 1908, Bd. 1.

Außerdem sei hier auf die ausführlichen Literaturverzeichnisse von Freidenfeldt (Nr. 21 des vorstehenden Verzeichnisses) und von Modestow (Nr. 77) verwiesen.

Druck von Hermann Beyer & Söhne (Beyer & Mann) in Langensalza.

Lebenslauf.

Ich, Hermann Böhme, wurde am 24. Juli 1886 zu Leipzig als Sohn des Kaufmanns Emil Böhme† geboren. Nach Ausbildung auf dem Seminar zu Weimar war ich bis Ostern 1914 als Lehrer in Dönges bei Eisenach tätig und widmete mich dann dem Studium der Landwirtschaft und Staatswissenschaften in Würzburg, Halle, München und Göttingen. Vom 6. August 1914 an nahm ich am Kriege teil. Nach meiner Entlassung aus dem Heeresdienste Anfang 1918 war ich auf verschiedenen Gütern zur Erlernung der Landwirtschaft tätig und versuchte später, als Zeitfreiwilliger im Kampfe gegen den Bolschewismus in Würzburg und Halle meine Pflicht zu tun. Ich legte am 24. Juli 1923 in Halle das landwirtschaftliche Vorexamen und das Staats(Diplom)-Examen ab, ferner bestand ich das Ergänzungsexamen in Latein am 31. März 1921 vor dem Provinzial-Schulkollegium zu Magdeburg. Seit W.-S. 1923/24 bin ich als Praktikant am Institut für Pflanzenbau der Universität Göttingen tätig und legte am 28. April 1924 die Prüfung als Saatzucht-Inspektor ab.

Als meine Lehrer verehre ich die Herren Professoren in:

Würzburg: Kniep, v. Schanz, Schleip, Marbe, Stangl†.

Halle: Disselhorst, Fleischmann, Frischeisen-Köhler†, Frölich, Haecker, Holdefleiss, Hollrung, Karsten, Martiny, Menzer, Mie, Roemer, Schneidewind, Steinbrück, Vorländer, Waentig, Walther, Wolff.

München: Escherich, v. Goebel, v. Hertwig, Hiltner, Henseler, Kiessling, Schnider, Schüpfer.

Göttingen: Blanck, Burgeff, Rippel, Schermer, Schmidt, Seedorf, Tornau, Voss.

Mein besonderer Dank aber gebührt meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Tornau, der mich bei Anfertigung vorliegender Arbeit in der freundlichsten Weise jederzeit unterstützt und auf jede Art gefördert hat; ferner bin ich Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. v. Seelhorst wie Herrn Assistent Wick zu tiefstem Dank verpflichtet.